T H E S E

PRESENTEE

A LA FACULTE DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITE DE BORDEAUX

POUR OBTENIR

LE TITRE DE DOCTEUR D'UNIVERSITE

par

Guy CHAZAL

SIMULATION, REGULATION ET OPTIMALISATION DE LA DYNAMIQUE D'UNE BATTERIE DE MELANGEURS-DECANTEURS PAR PROCEDE HYBRIDE (ANALOGUE-DIGITAL)

Soutenue le 18 juin 1971, devant la Commission d'Examen

MM. M. SURDIN — Président

J. SALARDENNE
C. CAILLET — Examinateurs

T H E S E

PRESENTEE

A LA FACULTE DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITE DE BORDEAUX

POUR OBTENIR

LE TITRE DE DOCTEUR D'UNIVERSITE

par

Guy CHAZAL

SIMULATION, REGULATION ET OPTIMALISATION DE LA DYNAMIQUE D'UNE BATTERIE DE MELANGEURS-DECANTEURS PAR PROCEDE HYBRIDE (ANALOGUE-DIGITAL)

Soutenue le 18 juin 1971, devant la Commission d'Examen

MM.	M. SURDIN	Président
	J. SALARDENNE	Examinateurs
	C. CAILLET	

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à Monsieur le Professeur M. SURDIN pour l'intérêt qu'il a toujours témoigné à mon travail et pour l'honneur qu'il a bien voulu me faire en présidant ce jury.

Je remercie également Monsieur le Professeur J. SALARDENNE, qui a bien voulu faire partie de ce jury.

Je veux aussi adresser toute ma gratitude à Monsieur C. CAILLET, Chef du Laboratoire de Calcul Analogique et Hybride, qui m'a proposé ce sujet d'étude, a dirigé mes recherches et qui n'a cessé de me manifester sa bienveillante attention tout au long de l'élaboration de ce travail.

Je tiens encore à remercier Monsieur J. WEILL, Chef des Services d'Electronique de Saclay, qui m'a permis d'effectuer ce travail au sein de son service.

J'adresse également mes très vifs remerciements à Messieurs A. BONNEMAY, D. BRAS M. DEAT, H. ROUYER ainsi qu'à Madame O. HOCLET qui m'ont prodigué de précieux et indispensables conseils pour réaliser ce travail.

Je remercie tout le Groupe de Calcul Analogique et Hybride auprès duquel j'ai trouvé aide et compréhension.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543508_0026

TABLE DES MATIERES.

INTRODUCTION

I. HISTORIQUE

II. DESCRIPTION D'UNE BATTERIE DE MELANGEURS-DECANTEURS

III. MODELE MATHEMATIQUE

- III.1. Mélangeurs
- III.2. Décanteurs
- III.3. Simplification
- III.4. Corrections de température et de titre
- III.5. Conclusion

IV. TRAITEMENT HYBRIDE CONCU POUR CETTE ETUDE.

- IV.1. Description sommaire du matériel hybride nécessaire à la résolution
- IV.2. Organisation des programmes de résolution
  - IV.2.1. Programme SEDOR
  - IV.2.2. Répartition des tâches entre les deux calculateurs

V. REPONSE DU SYSTEME SIMULE A DIVERSES PERTURBATIONS

- V.1. Perturbations de charge en forme d'échelon
- V.2. Perturbations de débits en forme d'échelon
- V.3. Perturbations de charge en forme de dents de scie
- V.4. Conclusion

VI. REGULATION

- VI.1. Formulation
- VI.2. Réalisation
- VI.3. Programme

VI.4. Résultats

VI.5. Conclusion

VII. OPTIMALISATION

VII.1. Enoncé du problème

VII.2. Plan des variables d'entrée et de sortie du processus

VII.3. Différentes approches possibles

VII.4. Réalisation pratique de la recherche du régime optimal

VII.5. Conclusion

ANNEXES :

- Organigrammes
- Schémas analogiques
- Listing complet du programme utilisé.

SIMULATION, REGULATION ET OPTIMALISATION DE LA DYNAMIQUE D'UNE BATTERIE DE MELANGEURS-DECANTEURS PAR PROCEDE HYBRIDE (ANALOGIE-DIGITAL)

INTRODUCTION.

Le travail présenté ici a été effectué à Saclay au Service d'Electronique des Réacteurs (Groupe de Calcul Analogique et Hybride).

Il concerne la simulation, au moyen d'un calculateur hybride, de la dynamique d'une batterie de mélangeurs-décanteurs du type de celles en service au Centre de Traitement des Combustibles Nucléaires Irradiés de Marcoule (Gard). Le but de cette simulation est d'obtenir un outil suffisamment souple et puissant qui permette de comprendre sans difficulté le comportement intime de la batterie et par suite d'en améliorer le fonctionnement réel et le rendement au moyen d'une régulation optimale.

Dans ce travail nous avons considéré une batterie complète de quatorze étages où les trois corps : uranium, plutonium et acide nitrique sont séparés au contact d'un solvant organique : le phosphate de tributyle (T.B.P.).

Le plan de l'étude résumé dans ce document comporte sept chapitres qui sont les suivants :

I - Rappel des travaux précédents effectués sur le sujet.

II - Description physique d'une batterie d'extraction.

III - Définition du modèle mathématique décrivant le phénomène.

IV - Traitement hybride conçu pour la résolution de ce modèle.

V - Réponse du système simulé à diverses perturbations.

VI - Etude d'une régulation par les débits.

VII - Essai d'optimisation par la méthode du Simplexe.

En annexe sont adjoints différents organigrammes utilisés dans l'étude ainsi que l'ensemble des schémas analogiques. Un listing complet de tous les programmes numériques est également fourni.

I. HISTORIQUE.

Le traitement des combustibles irradiés en vue de séparer et de purifier la matière fissile et certains sous-produits, tels que les éléments transuraniens, nécessite la mise en œuvre de procédés physico-chimiques dont, en particulier, l'extraction "liquide-liquide". Cette dernière permet la récupération d'un corps en le faisant passer d'une solution aqueuse dans un solvant organique non miscible à l'eau et vice versa. On dissout les produits à traiter et la solution obtenue circule, dans un extracteur, à contre-courant d'un solvant capable d'extraire préférentiellement les espèces que l'on désire récupérer.

Au moyen d'études préliminaires, on peut sélectionner un agent d'extraction approprié et trouver un schéma de traitement faisant intervenir des coefficients de partage ou des diagrammes qui représentent les échanges des éléments traités entre le solvant et la phase aqueuse. Ensuite on procède, en laboratoire, à l'expérimentation du procédé à l'aide de petits mélangeurs-décanteurs pour déterminer les conditions optimales de fonctionnement et le rôle des principaux paramètres. Et c'est souvent à partir de tels essais qu'est élaborée une formulation mathématique qui exprime d'une façon satisfaisante le comportement des phénomènes décrits précédemment.

La description mathématique du comportement des mélangeurs-décanteurs est assez complexe. Un grand nombre de variables interviennent ;

en plus les phénomènes chimiques se superposent aux phénomènes hydrodynamiques : or ceux-ci sont liés, dans une certaine mesure à la géométrie de l'installation. Il en résulte qu'il est nécessaire d'entreprendre une simulation propre à chaque batterie pour en connaître le fonctionnement.

Le traitement mathématique des équations représentant les mélangeurs-décanteurs connait depuis quelque temps un certain développement.

Dans le passé il a nécessité d'importantes simplifications : emploi de relations d'équilibre linéaires, débits constants...etc. Aujourd'hui, compte tenu des moyens de calculs offerts par les machines informatiques, il est possible de supprimer un grand nombre de ces approximations.

Plusieurs méthodes ont été utilisées jusqu'ici pour résoudre les équations de fonctionnement d'une batterie.

Lapidus et Amundson [1],ainsi que Darlington et Talmont [2], supposant l'existence d'une relation d'équilibre linéaire entre phases, ont donné une solution analytique à ce problème.

F. Jackson et R. L. Pigford [3] ont tenté de généraliser cette méthode de résolution dans le cas d'une relation d'équilibre non linéaire. Ils ont été conduits à la résolution d'une équation aux dérivées partielles du second ordre analogue à celle de la diffusion.

Des méthodes numériques de résolution ont aussi été envisagées :

- méthodes graphiques, vite abandonnées à cause de leur complexité et de leur imprécision.
- méthodes pas à pas. La plus employée est la méthode d'intégration de "Runge Kutta" qui dans certains cas, conduit à des instabilités dans le calcul et à des erreurs qui s'amplifient. Une autre méthode, également utilisée, est la méthode d'interpolation polynomiale qui approxime autour

d'un point la solution par un polynôme de degré n ; le point est alors calculé par une formule implicite, résolue par itération, ce qui fait appel à des temps de calcul non négligeables.

Enfin Acrivos et Amundson [4] ont employé un calculateur analogique . Leur étude se rapportait à une batterie de quatre étages pour laquelle les relations d'équilibre non linéaires se présentaient sous forme de polynômes du troisième degré. La capacité de leur calculateur étant faible, ils ne purent étendre leur problème à une batterie entière.

Plus tard H. Rouyer [5] a traité le même problème dans une formulation beaucoup plus générale nécessitant l'utilisation d'un calculateur analogique de grande capacité. Il fut le premier à faire appel à un calculateur hybride pour pouvoir simuler un nombre d'étages plus important.

Dernièrement, Di Bartoloméo et R. Gallo [6] utilisèrent un calculateur hybride pour résoudre le même problème dans une optique différente pour laquelle la méthode employée était du type itératif.

Il est possible de dégager les conclusions suivantes :

- les solutions analytiques traitent seulement des systèmes idéaux avec relations d'équilibre linéaires.

- les procédés numériques entrainent souvent des erreurs importantes de troncature et un temps de calcul trop long.

- les procédés analogiques conviennent bien à la simulation de ce type de problèmes, d'autant plus que les intégrations sont réalisées de façon continue et parallèle et que l'introduction des non-linéarités des lois d'équilibre n'entrainent aucune complication supplémentaire. Ils sont cependant limités du fait de la capacité finie des calculateurs analogiques. A titre d'exemple

indiquons que la simulation d'une batterie entière comportant une vingtaine d'étages nécessite l'emploi d'environ cinq cents amplificateurs, cent cinquante multiplieurs, cinq cents potentiomètres et cinquante générateurs de fonctions.

Les procédés hybrides permettent de diminuer fortement le nombre des éléments analogiques nécessaires dans l'exemple précédent sans pour autant introduire des difficultés numériques signalées dans le cas du calcul numérique pur.

Ils se présentent donc comme le moyen le plus efficace et le plus souple pour traiter, dans le cadre de la dynamique et de la régulation des batteries d'extraction, tous les modèles mathématiques non linéaires. C'est pourquoi nous avons décidé d'utiliser ces procédés pour étudier le comportement systématique d'une batterie et rechercher son rendement optimal.

II. DESCRIPTION D'UNE BATTERIE DE MELANGEURS-DECANTEURS.

Les mélangeurs-décanteurs sont des appareils qui présentent l'avantage de posséder un fonctionnement très souple et de permettre des mesures d'état par extraction d'échantillons : ils peuvent être arrêtés sans modification de l'équilibre établi et fonctionner à n'importe quel débit sans changement de l'efficacité (sous réserve de ne pas dépasser une limite maximale de fonctionnement définie par le temps de décantation ou par la cinétique des réactions - cinétique du plutonium -).

Par contre, les mélangeurs-décanteurs ont l'inconvénient de posséder un volume mort considérable donc de présenter certains risques de criticité dans les compartiments riches en plutonium. De plus le séjour prolongé des solutions aqueuses au contact du solvant ne peut qu'accentuer l'effet de radiolyse. Ils possèdent aussi autant d'interphases que d'étages ce qui favorise l'accumulation des impuretés. En outre la relative complexité des parties mécaniques est un désavantage pour des installations où l'intervention humaine est pratiquement exclue.

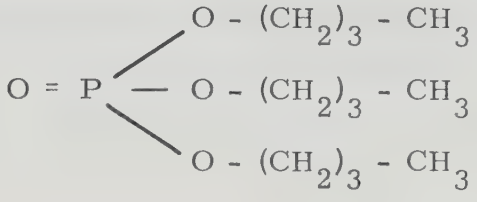
La batterie que l'on étudie fait partie d'une usine de traitement de combustibles nucléaires irradiés. Le rôle de cette batterie est d'extraire l'uranium et le plutonium des divers produits de fission.

Lorsqu 'on réalise une émulsion entre deux phases liquides distinctes et non miscibles, contenant un même corps en solution, on constate après décantation, une nouvelle répartition de ce corps entre les deux phases. Les nouvelles concentrations sont bien définies et on appelle

coefficient de partage le rapport de ces concentrations à l'équilibre dans les deux phases.

Dans la batterie les deux phases circulent à contre-courant dans une succession de "pots". La solution dont il faut extraire l'uranium et le plutonium est introduite à une extrémité et le solvant frais à l'autre. Dans chaque pot, après l'obtention d'un équilibre, les phases qui ont été mélangées à l'entrée se retrouvent séparées. On recueille finalement à la sortie du dernier pot un volume restreint de solvant contenant l'uranium et le plutonium tandis que la solution aqueuse, épuisée mais contenant toutes les impuretés, sort du premier pot, à l'autre extrémité.

Le solvant choisi est le phosphate tributylique qui est un ester de l'acide phosphorique et de l'alcool butylique. Sa formule chimique est :



Ses propriétés sont nombreuses ; il faut noter :

- sa très faible miscibilité à l'eau,
- son ininflammabilité quasi-complète,
- sa sélectivité amplement suffisante,
- sa grande stabilité en milieu acide.

En raison de sa viscosité et de sa densité voisine de 1 (0,97), il doit être dilué dans des solvants plus légers. C'est pour cette raison que, à Marcoule, il est dilué dans du dodécane.

L'uranium est présent sous forme de nitrate d'uranyle. Il est introduit dans la batterie en solution aqueuse et, progressivement extrait par le T.B.P. (30 %) sort en solution organique.

Le plutonium provient du nitrate de plutonium qui se trouve également en phase aqueuse dans la batterie.

La phase aqueuse d'alimentation contient aussi de l'acide nitrique en quantité importante.

Les coefficients de partage de l'uranium et de l'acide nitrique interfèrent entre eux et dépendent de leur concentration.

La batterie se divise en deux sections :

- une section d'extraction, constituée de huit étages de mélangeurs-décanteurs, où l'uranium et le plutonium sont essentiellement extraits.

- une section de lavage, constituée de six étages de mélangeurs-décanteurs, qui a pour but d'améliorer le taux de décontamination. On effectue le lavage du solvant par de l'acide nitrique dilué. Cette opération permet de débarrasser le solvant de petites vésicules de phase aqueuse qui auraient pu être entrainées et aussi d'éliminer certaines impuretés demeurées dont le coefficient de partage, quoique très bas, peut ne pas être tout à fait négligeable. La solution aqueuse de lavage réextrait un peu de l'uranium qui était dans le solvant ; elle est recyclée à l'extraction.

En résumé, l'uranium et le plutonium pénètrent, en phase aqueuse, dans la section d'extraction puis, en phase organique dans la section de lavage. Les produits de fission ou impuretés sont entraînés par le courant aqueux dans la section d'extraction. L'autre fraction ressort, purifiée, de la batterie avec le solvant.

Chaque étage est constitué :

- d'un pot mélangeur dans lequel les deux phases se trouvent rassemblées et intimement brassées.

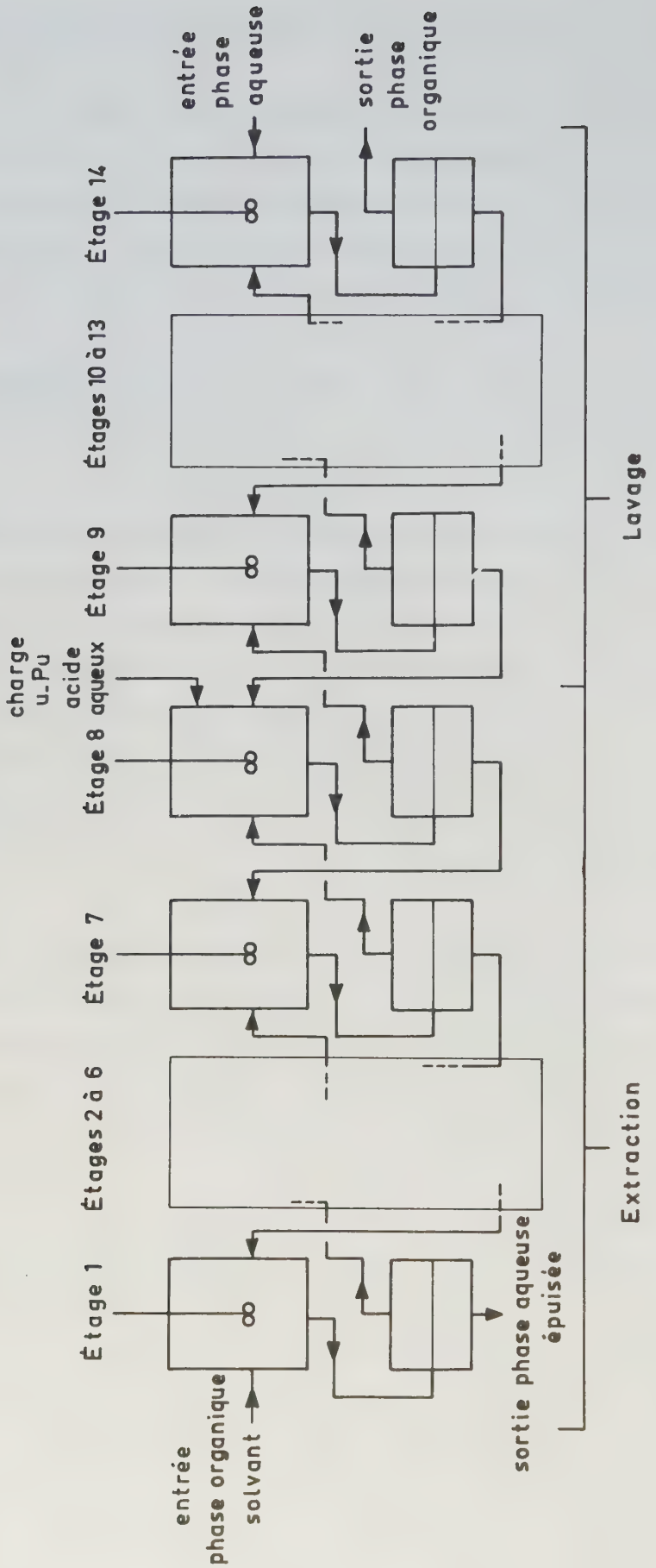


Figure_1 Schéma de principe d'une batterie d'extraction d'uranium comprenant 14 étages

- d'un pot décanteur où s'écoule l'émulsion formée lors du mélange et où s'effectue la séparation des deux phases.

Une turbine placée dans le mélangeur assure à la fois le brassage et la circulation des liquides.

III. MODELE MATHEMATIQUE.

Il est construit à partir de la batterie définie par la figure 1. On trouvera dans la thèse de H. Rouyer [5] la justification de la formulation mathématique dont la résolution constitue le sujet de ce présent travail.

Considérons alors la figure 2 qui représente un schéma de principe d'un étage de la batterie.

Un étage J reçoit, provenant de l'étage J-1, la solution organique (notée par l'indice 2) définie par un débit D_2^{J-1}, une concentration en acide A_2^{J-1}, une concentration en uranium U_2^{J-1}, une concentration en plutonium PU_2^{J-1}. Il reçoit aussi, provenant de l'étage J+1, la solution aqueuse (notée par l'indice 1) définie par un débit D_1^{J+1}, une concentration en acide A_1^{J+1}, une concentration en uranium U_1^{J+1}, une concentration en plutonium PU_1^{J+1}.

Le mélange obtenu à l'intérieur du pot mélangeur J est alors défini par les concentrations en acide, uranium et plutonium en phases aqueuse et organique : AM_1^J, UM_1^J, PUM_1^J, AM_2^J, UM_2^J, PUM_2^J.

Après décantation, il sort de l'étage J une solution organique (débit D_2^J, concentration en acide A_2^J, concentration en uranium U_2^J, concentration en plutonium PU_2^J) qui se dirige vers l'étage J+1 et une solution aqueuse (débit D_1^J, concentration en acide A_1^J, concentration en uranium U_1^J, concentration en plutonium PU_1^J) qui se dirige vers l'étage J-1.

La solution aqueuse "descend" les étages, la solution organique les "remonte".

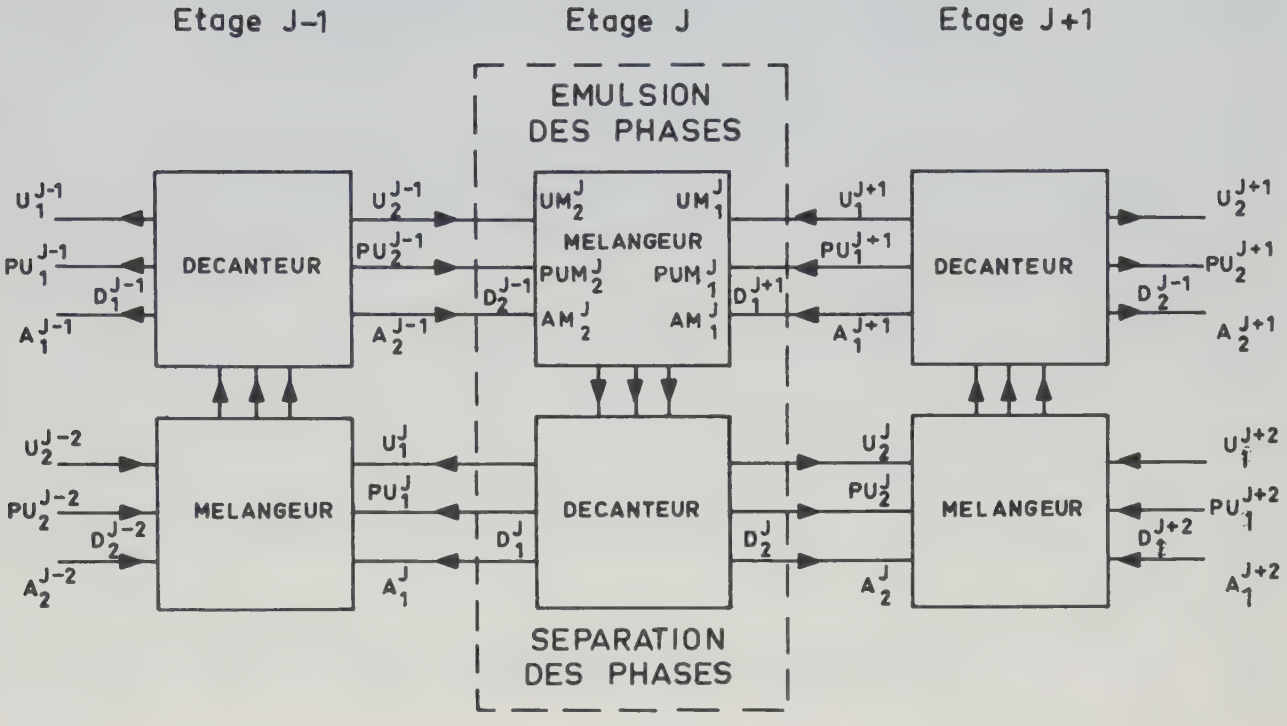


Figure_2 Schéma de principe d'un étage d'une batterie d'extraction d'uranium

III.1. Mélangeurs.

III.1.1. Le bilan massique des 3 corps - uranium, plutonium, acide - en présence dans les phases s'exprime dans le cas général par les équations suivantes :

(1) $$H^J \frac{d\,AM_1^J}{dt} + h^J \frac{d\,AM_2^J}{dt} = D_1^{J+1}\ A_1^{J+1} + D_2^{J-1}\ A_2^{J-1} - D_1^J\ AM_1^J - D_2^J\ AM_2^J$$

(2) $$H^J \frac{d\,UM_1^J}{dt} + h^J \frac{d\,UM_2^J}{dt} = D_1^{J+1}\ U_1^{J+1} + D_2^{J-1}\ U_2^{J-1} - D_1^J\ UM_1^J - D_2^J\ UM_2^J$$

(3) $$H^J \frac{d}{dt}\ PUM_1^J + h^J \frac{d}{dt}\ PUM_2^J = D_1^{J+1}\ PU_1^{J+1} + D_2^{J-1}\ PU_2^{J-1} - D_1^J\ PUM_1^J - D_2^J\ PUM_2^J$$

Pour l'étage 8, qui comporte une entrée complémentaire en phase aqueuse relative à l'acide, à l'uranium et au plutonium, les équations ci-dessus doivent être complétées.

Il faut ajouter au second membre les quantités :

$D_1^8\ A_{10}$ en ce qui concerne l'équation (1)

$D_1^8\ U_{10}$ en ce qui concerne l'équation (2)

$D_1^8 \; PU_{10}$ en ce qui concerne l'équation (3).

De même pour l'étage 14, qui comporte aussi une entrée en phase aqueuse mais où il y a seulement présence d'acide, il faut ajouter au second membre de l'équation (1) la quantité :

$$D_1^{14} A'_{10}.$$

Les paramètres H^J et h^J représentant les volumes des phases aqueuses et organiques dans le mélangeur sont liés aux débits D_1^J et D_2^J par les relations :

$$\frac{h^J}{H^J} = \frac{D_2^J}{D_1^J}$$

$$h^J + H^J = W^J$$

W^J étant le volume total, supposé constant, du mélangeur.

III.1.2. Les équations d'équilibre

(4) $$AM_2^J = f_1 (AM_1^J, UM_1^J, UM_2^J)$$

(5) $$UM_2^J = f_2 (UM_1^J, AM_1^J)$$

(6) $$PUM_2^J = f_3 (PUM_1^J, UM_1^J, UM_2^J)$$

sont définies à partir des relations chimiques suivantes :

$$UO_2^{++}{}_{(aq.)} + 2\ NO_3^-{}_{(aq.)} + 2\ TBP_{(org.)} \rightleftharpoons UO_2\ (NO_3)_2\ 2\ TBP_{(org.}$$

$$NO_3^-{}_{(org.)} + H^+{}_{(aq.)} + TBP_{(org.)} \rightleftharpoons HNO_3\ TBP \quad ,$$

relations qui peuvent être traduites par deux expressions faisant apparaitre les "constantes apparentes" des équilibres entre phases :

(a) $$K'_1 = \frac{[UO_2\ (NO_3)_2\ 2\ TBP\ ]}{[UO_2^{++}]\ [NO_3^-]\ [TBP]^2}$$

(b) $$K'_2 = \frac{[HNO_3\ TBP]}{[NO_3^-]\ [H^+]\ [TBP]}$$

Dans le calcul développé ici, les expressions mathématiques des fonctions f_1, f_2 et f_3 sont déduites d'expériences chimiques réalisées en laboratoire. Elles sont de la forme :

$$\rightarrow f_1 = (1 + 2\alpha\ UM_1^J - 2\beta\ UM_2^J)\ g_1\ (AM_1^J)$$

avec $$\alpha = 0,07\ (AM_1^J - 3,5)^2 - 0,12$$

$$\beta = 1,16 - 0,14\ (AM_1^J - 1)$$

$g_1\ (AM_1^J)$ est une fonction expérimentale de la concentration AM_1^J dont les valeurs sont données dans le tableau ci-dessous :

AM_1^J	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5
$g_1\ (AM_1^J)$	0,08	0,18	0,32	0,44	0,54	0,63	0,71

Il faut ajouter les conditions : 1) pour la fonction α

$$\text{si } AM_1^J < 1,5 \Longrightarrow AM_1^J = 1,5$$

$$\text{si } AM_1^J - 3,5 > 1,3 \Longrightarrow AM_1^J - 3,5 = 1,3$$

2) pour la fonction β

$$\text{si } AM_1^J < 1 \Longrightarrow AM_1^J = 1$$

$$\text{si } AM_1^J > 3,5 \Longrightarrow AM_1^J = 3,5$$

3) pour la fonction f_1

$$\text{si } UM_1^J > \frac{180}{238} = 0,7563 \Longrightarrow UM_1^J = 0,7563 \text{ mole/l}$$

$$\rightarrow f_2 = 0,535 - 0,9\, g_2 (UM_1^J, AM_1^J) - [0,535 - 0,9\, g_2 (0, AM_1^J)]\, h_2 (UM_1^J, AM_1^J)$$

$$\text{avec } g_2 (UM_1^J, AM_1^J) = e^{e^{- 0,533\, UM_1^J + \frac{1}{3,15\, (AM_1^J)^{1/3}} + 1,395} - 6,90}$$

$$h_2 (UM_1^J, AM_1^J) = e^{e^{- 1,7\, (AM_1^J + 0,4)\, UM_1^J + 1,933} - 6,90}$$

$$\rightarrow f_3 = 0,538\, \frac{UM_2^J}{UM_1^J} \cdot PUM_1^J$$

III.2. Décanteurs.

Une étude analogique préalable [7] relative à la mise au point d'un modèle mathématique adéquate a permis de montrer qu'il était justifié de faire le choix d'une formulation identique pour les deux phases des différents corps. Il en résulte que le décanteur peut être considéré comme un réacteur parfaitement mélangé, dont les équations de fonctionnement s'écrivent :

$$\frac{d\,A_1^J}{dt} = \frac{D_1^J}{V_1^J}\,(AM_1^J - A_1^J) \tag{7}$$

$$\frac{d\,A_2^J}{dt} = \frac{D_2^J}{V_2^J}\,(AM_2^J - A_2^J) \tag{8}$$

$$\frac{d\,U_1^J}{dt} = \frac{D_1^J}{V_1^J}\,(UM_1^J - U_1^J) \tag{9}$$

$$\frac{d\,U_2^J}{dt} = \frac{D_2^J}{V_2^J}\,(UM_2^J - U_2^J) \tag{10}$$

$$\frac{d\,PU_1^J}{dt} = \frac{D_1^J}{V_1^J}\,(PUM_1^J - PU_1^J) \tag{11}$$

$$\frac{d\,PU_2^J}{dt} = \frac{D_2^J}{V_2^J}\,(PUM_2^J - PU_2^J) \tag{12}$$

Les coefficients V_1^J et V_2^J représentant les volumes de la phase aqueuse et organique dans le décanteur sont reliés par les deux relations :

$$\frac{V_1^J}{V_2^J} = \frac{D_1^J}{D_2^J}$$

$$V_1^J + V_2^J = V^J$$

V^J étant le volume total, supposé constant, du décanteur.

Les équations des densités des phases sont de la forme :

(13) $$d_1^J = 1,001 + 0,32\ U_1^J + 0,032\ A_1^J$$

(14) $$d_2^J = 0,821 + 0,32\ U_2^J + 0,025\ A_2^J$$

L'indice J variant de 1 à 14, est relatif à l'étage considéré.

III.3. Simplification.

L'expérience révèle que les concentrations de l'uranium et du plutonium sont négligeables dans les cinq premiers étages ; aussi, les avons-nous supposées nulles. Il en résulte que les équations (2), (3), (5), (6), (7) à (12), sont supprimées pour J variant de 1 à 5. En ce qui concerne l'acide, l'équation (1) exprimant le bilan est conservée mais l'équation d'équilibre (4) devient :

$$AM_2^J = 0,21\ AM_1^J \qquad \text{pour J variant de 1 à 3}$$

$$AM_2^J = 0,1 + 0,17\ AM_1^J \qquad \text{pour J variant de 4 à 5.}$$

III.4. Corrections de température et de titre.

Pour approcher davantage la réalité, il est nécessaire d'adjoindre aux équations précédentes quelques relations qui expriment que la température du milieu et le titre du solvant organique influent sur les concentrations des différents corps.

III.4.1. L'extraction de l'uranium et de l'acide en phase organique est une réaction exothermique.

A partir des résultats expérimentaux de Schevchenko et Federov, on peut montrer qu'il existe une variation de la concentration de l'uranium donnée par l'expression :

$$d\,UM_2^J = f_2\,(UM_1^J)\,[0,25\,UM_1^J - 0,17]\,\frac{\theta - 20}{20} \qquad (15)$$

où θ est la température de la phase exprimée en degrés C.

Des relations (a) et (b) on tire l'équation d'équilibre d'extraction :

$$AM_2^J = K'_2\,(2UM_1^J + H^+)\,(T_o - 2UM_2^J - AM_2^J)$$

avec H^+ = concentration de la phase aqueuse en acide

T_o = concentration initiale du TBP dans le solvant.

Supposons constants UM_1^J et H^+ et différentions :

$$\frac{d\,AM_2^J}{AM_2^J} = - \frac{2\,d\,UM_2^J - d\,AM_2^J}{T_o - 2\,UM_2^J - AM_2^J}$$

d'où

$$(16) \qquad d\,AM_2^J = - \frac{2\,AM_2^J}{T_o - 2\,UM_2^J}\,d\,UM_2^J$$

III.4.2. Les équations qui décrivent l'équilibre de l'extraction de l'uranium peuvent se mettre sous la forme :

$$UM_2^J = K'_1\,(2UM_1^J + H^+)^2\,(T_o - 2UM_2^J - AM_2^J)^2\,UM_1^J$$

$$= K'_1\,(2UM_1^J + H^+)^2\,T^2\quad UM_1^J$$

UM_1^J et H^+ étant supposés fixés, différentions cette expression. Il vient :

$$\frac{d\,UM_2^J}{UM_2^J} = \frac{2\,dT}{T} = \frac{2\,(dT_o - 2\,d\,UM_2^J - 2\,d\,AM_2^J)}{T_o - 2\,UM_2^J - 2\,AM_2^J}$$

De même nous avons pour l'acide :

$$\frac{d\,AM_2^J}{AM_2^J} = \frac{dT}{T} = \frac{1}{2}\quad \frac{d\,UM_2^J}{UM_2^J}$$

d'où

$$(17) \qquad d\,UM_2^J = UM_2^J \cdot \frac{2\,\Delta T}{T_o + 2UM_2^J}$$

$$(18) \qquad d\,AM_2^J = AM_2^J \cdot \frac{\Delta T}{T_o + 2UM_2^J}$$

La grandeur ΔT peut être positive ou négative. Elle sera imposée pour chaque essai ainsi que T_o.

III. 5. Conclusion.

En résumé, le modèle mathématique qui vient d'être défini, peut être considéré comme un ensemble comportant 172 équations, dont 86 différentielles et 86 algébriques ou transcendantes. Il présente la structure d'un système multivariable à quatre entrées (A_{10}^8, U_{10}^8, PU_{10}^8, A_{10}^{14}), quatre sorties (A_1^1, A_2^{14}, U_2^{14}, PU_2^{14}), et deux paramètres (D_1 et D_2).

Rappel de la signification des variables et des paramètres.

AM_1^J : concentration de l'acide en phase aqueuse dans le mélangeur

AM_2^J : concentration de l'acide en phase organique dans le mélangeur

UM_1^J : concentration de l'uranium en phase aqueuse dans le mélangeur

UM_2^J : concentration de l'uranium en phase organique dans le mélangeur

PUM_1^J : concentration du plutonium en phase aqueuse dans le mélangeur

PUM_2^J : concentration du plutonium en phase organique dans le mélangeur

A_1^J : concentration de l'acide dans la phase aqueuse quittant le décanteur

A_2^J : concentration de l'acide dans la phase organique quittant le décanteur

U_1^J : concentration de l'uranium dans la phase aqueuse quittant le décanteur

U_2^J : concentration de l'uranium dans la phase organique quittant le décanteur

PU_1^J : concentration du plutonium dans la phase aqueuse quittant le décanteur

PU_2^J : concentration du plutonium dans la phase organique quittant le décanteur

D_1^J : débit de la phase aqueuse entrant dans l'étage

D_2^J : débit de la phase organique entrant dans l'étage

H^J : volume de la phase aqueuse dans le mélangeur

h^J : volume de la phase organique dans le mélangeur

V_1^J : volume de la phase aqueuse dans le décanteur

V_2^J : volume de la phase organique dans le décanteur

W : volume du mélangeur

V : volume du décanteur

J : indice de l'étage

A_{10} : concentration de charge de l'acide en phase aqueuse introduite à l'étage 8

A'_{10} : concentration de l'acide en phase aqueuse de lavage introduite à l'étage 14

U_{10} : concentration de charge de l'uranium en phase aqueuse introduite à l'étage 8

PU_{10} : concentration de charge du plutonium en phase aqueuse introduite à l'étage 8.

D'_1 : débit de lavage de la phase aqueuse.

IV. TRAITEMENT HYBRIDE CONCU POUR CETTE ETUDE.

Le problème actuel est une extension d'un problème à deux corps (uranium-acide) que nous avons traité sur calculateur hybride [8] : nous cherchions alors à déterminer des états d'équilibre finaux en fonction de concentrations initiales différentes d'uranium et d'acide ainsi que des débits.

Dans l'étude purement analogique dont on a parlé précédemment (chapitre 1 , page 5) [5], les principales difficultés rencontrées provenaient de la résolution des équations algébriques implicites qui décrivent l'équilibre chimique. Ces équations nécessitaient l'utilisation d'un grand nombre d'opérateurs analogiques non linéaires et introduisaient des instabilités difficiles à éliminer. Dans ces conditions, nous avons pensé qu'un calculateur hybride serait mieux adapté, calculateur pour lequel la partie numérique prendrait en charge la résolution des équations algébriques tandis que la partie analogique serait affectée à la résolution des équations différentielles.

D'une façon générale le partage entre les tâches distribuées à chaque calculateur est déterminé en fonction des avantages spécifiques présentés par chacun d'eux.

Rappelons quelques avantages propres à la partie analogique :

- grande vitesse de calcul (bande passante allant jusqu'à 200 KHz),

- intégration continue par rapport au temps (pas d'erreur de méthode),
- parallélisme du calcul (toutes les opérations sont réalisées simultanément),
- facilité de mise en œuvre et grande souplesse d'utilisation.

Par contre, la partie numérique apporte de nouvelles possibilités :

- mécanisation d'algorithmes de calcul,
- aide à la programmation et à l'exploitation du calculateur analogique (essais et vérifications du montage analogique ; essais des programmes numériques, programmation hybride),
- contrôle du mode, affichage des coefficients, commutation de circuits,
- travaux liés à la gestion de l'interface hybride : commande de convertisseurs, multiplexeurs,
- prise en charge d'un certain nombre de calculs et de fonctions logiques du problème proprement dit.

En groupant ces deux moyens de calcul, il faut donc concilier :

- le traitement de grandeurs analogiques continues et de grandeurs numériques quantifiées,
- l'utilisation d'opérateurs matériels et d'opérateurs programmes abstraits,
- l'organisation d'opérateurs analogiques fonctionnant en parallèle et d'opérateurs numériques en séquence.

Vu la grande vitesse de résolution des équations différentielles c'est principalement cette tâche que nous confierons au calculateur analogique.

Le calculateur numérique exécutera :

- les intégrations lentes,
- les générations de fonctions quelconques,

- la mémorisation et la restitution des fonctions,
- la résolution d'équations algébriques.

En plus il pourra aider à la préparation du programme analogique et vérifier le programme hybride.

IV. 1. Description sommaire du matériel hybride nécessaire à la résolution.

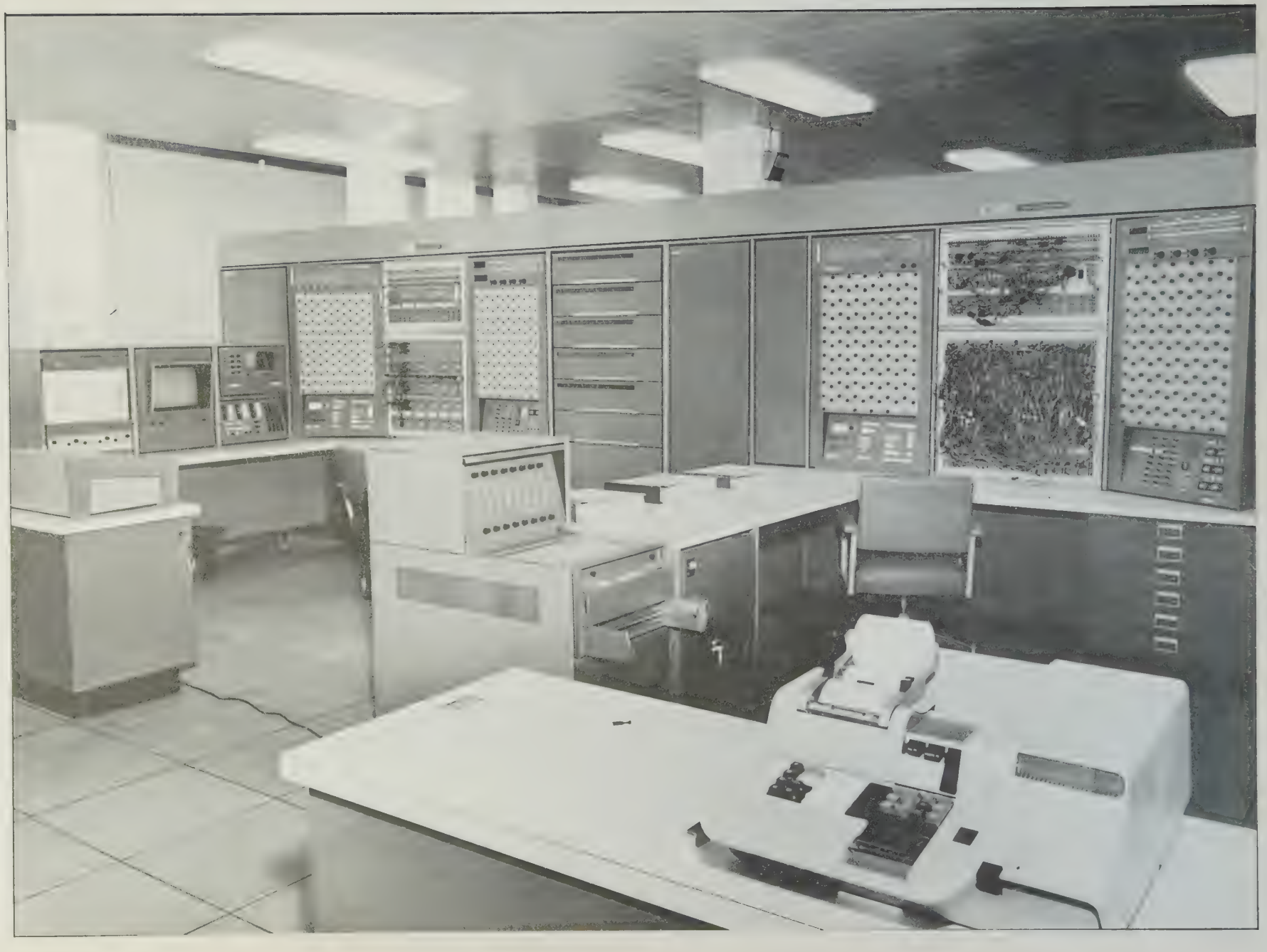
L'équipement hybride utilisé est celui du Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay. Cet équipement comprend un ensemble EAI 8900 composé :

- d'un calculateur analogique/logique EAI 8800,
- d'un calculateur numérique EAI 8400,
- d'un interface de liaison EAI 8930.

Le calculateur analogique EAI 8800 comprend environ :

- 200 amplificateurs opérationnels, sommateurs et intégrateurs,
- 250 potentiomètres à affichage automatique,
- 50 multiplieurs électroniques à grande bande passante,
- 5 générateurs de fonction à diodes,
- des résolveurs, limiteurs et comparateurs,
- des commutateurs électroniques,
- des éléments logiques : portes ET, bascules, compteurs d'impulsions, registres à décalage, horloge.

Le calculateur numérique EAI 8400 est surtout caractérisé par un cycle de base (1,75 µs) et un temps d'exécution (multiplication en flottant : 7 µs) très courts.



Il se décompose en quatre blocs principaux :

- le module mémoire qui stocke rapidement les instructions et les données (capacité 32 K mots).
- l'unité centrale, formée du module contrôle et du module arithmétique, qui constitue l'organe de commande du calculateur.
- le module d'échange permettant la circulation des ordres et des données entre la mémoire et l'unité centrale d'une part, les équipements extérieurs d'autre part.
- le canal automatique de données qui automatise le transfert des blocs entiers de données vers la mémoire.

Le sous-ensemble de liaison 8930 peut se diviser en deux parties :

1°/ l'une relative aux commandes : C'est le "Controle Interface".

- opérations de commande et de contrôle du calculateur analogique,
- opérations logiques,
- opérations de lecture d'état de 8800.

2°/ l'autre relative aux données au moyen de convertisseurs. C'est le "Data Interface". Il y a 32 convertisseurs digitaux-analogiques et un convertisseur analogique digital relié aux 32 canaux d'arrivée des valeurs analogiques par l'intermédiaire d'un multiplexeur.

IV.2. Organisation des programmes de résolution.

A partir des équations définies au chapitre III, il a fallu déterminer une méthode de résolution sur machine hybride.

Nous avons employé le programme de type conversationnel, appelé SEDOR, qui permet de gérer l'intégration numérique, en temps réel, d'un système d'équations différentielles.

IV.2.1. Programme SEDOR. [9].

Le programme SEDOR a été conçu spécialement pour permettre l'intégration numérique. Alors que la machine analogique intègre de façon continue et parallèle le calculateur numérique opère par valeurs discrètes et de façon séquentielle. Il est donc nécessaire de choisir un pas et un algorithme d'intégration adéquates de façon à obtenir la précision la meilleure. SEDOR n'utilise pas de méthode à pas variable parce qu'il en résulterait à chaque boucle de calcul, un changement de pas fonction de certains critères d'erreur ce qui risquerait d'introduire des délais incompatibles avec le bon fonctionnement du programme hybride. Il emploie un programme, appelé NINTG, programme fourni par le constructeur (EAI), utilisant des méthodes à pas fixe. Plusieurs algorithmes sont possibles, le choix étant laissé au programmeur en fonction de la précision recherchée et du temps qu'il s'impose pour exécuter l'intégration.

Donnons quelques renseignements sur le programme SEDOR (un organigramme détaillé est inséré en annexe).

SEDOR permet de commander, à partir du calculateur numérique, le calculateur hybride à la manière d'un calculateur analogique. On est ainsi maître du choix des modes conditions initiales (I.C.), calcul (O.P) et mémoire (H) propres au calculateur analogique.

Les fonctions de commande sont réalisées au moyen :

- du registre des indicateurs qui permettent à l'opérateur de choisir les différents modes analogiques et numériques de calcul à partir de la console numérique,

- du registre des boutons de console qui servent pour l'impression des résultats sur imprimante rapide.

C'est par l'intermédiaire du ''Control Interface'' que se fait la liaison des deux calculateurs c'est-à-dire l'introduction de variables analogiques pour traitement numérique et réciproquement (convertisseurs analogiques-digitaux, et digitaux-analogiques).

Comme sur calculateur analogique, on distingue dans ce programme les trois modes fondamentaux :

1°/ le mode I.C (mise en conditions initiales) effectue :

- la mise à leur valeurs initiales de toutes les variables d'état à intégrer du système d'équations différentielles,
- la mise à leurs valeurs initiales des variables autres que les variables d'état et les diverses fonctions de l'utilisateur,
- des préparations diverses concernant notamment l'algorithme d'intégration choisi, le registre TIMER (horloge du temps réel) et la mise en mode I.C. de la machine analogique.

2° / le mode O.P est le mode de calcul proprement dit.

SEDOR met la machine 8800 en calcul. Le registre TIMER sert à synchroniser le temps machine avec le temps physique et par suite à obtenir un calcul en temps réel (lorsque l'échelle de temps de calcul est

égale à 1). SEDOR démarre le TIMER déjà initialisé en I.C.

3° le mode Hold arrête le calcul des deux machines et conserve l'état du système à l'instant du passage dans ce mode.

IV.2.2. Répartition des tâches entre les deux calculateurs.

Considérons maintenant la manière dont les tâches sont réparties entre les deux calculateurs.

Comme le modèle mathématique comporte un système différentiel d'ordre 86 (ce qui implique 86 intégrations) et comme le calculateur analogique EAI 8800, dont on dispose, ne possède que 60 intégrateurs, il a fallu faire appel au calculateur numérique pour la résolution d'un certain nombre d'équations différentielles.

Une étude préalable nous avait montré que la variation des différentes variables dans les étages 9 à 13 était particulièrement lente et de faible amplitude. Aussi avons-nous confié au calculateur numérique le traitement par SEDOR de toutes les équations relatives à ces étages.

De plus, comme nous l'avons déjà dit, l'ensemble des équations algébriques et transcendantes a été résolu par la voie numérique à cause de leur complexité.

Compte-tenu des propriétés du calculateur analogique, il semble naturel de lui attribuer la résolution de l'ensemble des équations différentielles pour les étages 1 à 9, et 14.

Dans la répartition des tâches, il faut ajouter à l'actif du calculateur numérique un travail d'automatisme et de vérification dont la réalisation est assurée par un programme appelé AFFPOT que nous avons écrit en Fortran et dont on trouvera un organigramme détaillé en annexe. Grâce aux convertisseurs numériques analogiques et aux sous-programmes de librairie, AFFPOT détermine et affiche les valeurs de tous les potentio-

mètres du calculateur analogique à partir des échelles analogiques imposées à l'avance aux variables et à partir des données physiques définies dans le modèle mathématique. AFFPOT est aussi un programme de test statique ; il calcule les valeurs théoriques des sorties de tous les opérateurs analogiques en condition initiale et les compare aux valeurs réellement présentes sur le calculateur. Pour obtenir une meilleure précision, nous lui avons adjoint un programme PARAM qui permet de modifier toute donnée, toute échelle, toute condition initiale sans qu'il soit nécessaire de procéder à une nouvelle compilation.

La liste des valeurs des potentiomètres et les résultats du test statique sont fournis par une imprimante rapide.

AFFPOT permet de réaliser un gain de temps considérable. L'affichage manuel des 220 potentiomètres nécessaires à l'étude demande environ 45 minutes. AFFPOT réduit ce temps à 7 minutes.*

Détaillons maintenant le travail effectué par les deux calculateurs.

1° Programmation analogique (équations et schémas).

Nous traitons sur le calculateur analogique 41 équations différentielles. Elles représentent les équations de bilan, dans les mélangeurs

---

* Remarque : Temps encore non négligeable dû à la présence de potentiomètres automatiques commandés par asservissement mécanique. Sur les calculateurs analogiques les plus modernes, les potentiomètres asservis sont remplacés par des "coefficients numériques" qui sont en fait des amplificateurs déphaseurs à gain variable dont l'affichage est de l'ordre de quelques microsecondes par coefficient. Il en résulterait que, sur un tel calculateur, AFFPOT réaliserait l'affichage et le test statique en quelques millisecondes.

et décanteurs, pour les étages 1 à 8 et 14.

Les équations analogiques sont définies à partir des équations physiques 1 à 3 et 7 à 12 de la batterie et le choix des échelles est fait de façon à optimaliser la précision du calcul : à toute variable physique dont la valeur instantanée est N correspond sur le calculateur une tension électrique dont la valeur N' est liée à N par la relation :

$$N' = \lambda N$$

où λ est un scalaire.

Les équations analogiques peuvent être écrites sous la forme suivante pour tenir compte des possibilités du programme AFFPOT.

ACIDE

Etages 1 à 5

$$\frac{d}{dt}\left\{\frac{1}{FA(I)}\left([EA1(I)AM1(I)] + IA(I)\,[EA2(I)AM2(I)]\right)\right\}$$

$$= -\,NA(I)\left\{\frac{1}{FA(I)}\left([EA1(I)AM1(I)] + IA(I)\,[EA2(I)AM2(I)]\right)\right\}$$

$$+\,NA1(I)\,[EA1(I+1)A1(I+1)\,] + NA2(I)\,[EA2(I-1)A2(I-1)]$$

$[EA2(I)AM2(I)] = NB(I)\,[EA1(I)AM1(I)\,]$ Etages 1 à 3

$[EA2(I)AM2(I)] = NC(I) + ND(I)\,[EA1(I)AM1(I)]$ Etages 4 et 5

Avec :

$$IA(I) = \frac{EA1(I)}{EA2(I)} \times \frac{h(I)}{H(I)} \qquad NA(I) = \frac{1}{100} \times \frac{D(I)}{V1(I)}$$

$$NA1(I) = \frac{EA1(I)}{100\ FA(I)EA1(I+1)} \times \frac{D(I+1)}{V1(I)}$$

$$NA2(I) = \frac{EA1(I)}{100\ FA(I)EA2(I-1)} \times \frac{D2(I-1)}{V1(I)}$$

$$NB(I) = 0,21\ \frac{EA2(I)}{EA1(I)} \qquad NC(I) = 0,1\ EA2(I)$$

$$ND(I) = 0,17\ \frac{EA2(I)}{EA1(I)}$$

Etages 6 à 14

$$\frac{d}{dt}\left\{\frac{1}{FA(I)}\left([EA1(I)AM1(I)] + IA(I)\ [EA2(I)AM2(I)]\right)\right\}$$

$$= -\ JA(I)\left\{\frac{1}{FA(I)}\left([EA1(I)AM1(I)] + IA(I)\ [EA2(I)AM2(I)]\right)\right\}$$

$$+ LA(I)\ [EA1(I+1)A1(I+1)] + KA(I)\ [EA2(I-1)A2(I-1)]$$

$$+ \begin{cases} MA(I) & \text{pour } I = 8 \\ MAA(I) & \text{pour } I = 14 \end{cases}$$

$$\frac{d}{dt}\,[EA2(I)A1(I)] = N(I)\left([EA1(I)AM1(I)] - [EA1(I)A1(I)]\right)$$

$$\frac{d}{dt}\,[EA2(I)A2(I)] = N(I)\left([EA2(I)AM2(I)] - [EA2(I)A2(I)]\right)$$

Avec :

$$IA(I) = \frac{EA1(I)}{EA2(I)} \times \frac{h(I)}{H(I)} \qquad JA = \frac{1}{100}\,\frac{D(I)}{H(I)}$$

$$LA(I) = \frac{EA1(I)}{100\,FA(I)EA1(I+1)} \times \frac{D(I+1)}{H(I)}$$

$$KA(I) = \frac{EA1(I)}{100\,FA(I)EA2(I-1)} \times \frac{D2(I-1)}{H(I)}$$

$$MA(I) = \frac{EA1(I)}{100\,FA(I)} \times \frac{D1(I)}{H(I)}\,A10(I) \qquad \text{pour } I = 8$$

$$MAA(I) = \frac{EA1(I)}{100\,FA(I)} \times \frac{D10(I)}{H(I)}\,A10(I) \qquad \text{pour } I = 14$$

$$N(I) = \frac{1}{100}\,\frac{D(I)}{V1(I)}$$

$$D(I) = D1(I) + D10(I)$$

Les coefficients EA1(I), EA2(I), FA(I) représentent les facteurs d'échelle.

URANIUM.

Etages 6 à 14

$$\frac{d}{dt}\left\{\frac{1}{FU(I)}\left([EU1(I)UM1(I)] + IU(I)\,[EU2(I)UM2(I)]\right)\right\}$$

$$= -\,JU(I)\left\{\frac{1}{FU(I)}\left([EU1(I)UM1(I)] + IU(I)\,[EU2(I)UM2(I)]\right)\right\}$$

$$+\,LU(I)\,[EU1(I+1)U1(I+1)] + KU(I)\,[EU2(I-1)U2(I-1]$$

$$+\left\{\begin{array}{l} MU(I) \\ \\ \text{pour } I = 8 \end{array}\right.$$

$$\frac{d}{dt}\,[EU1(I)U1(I)] = N(I)\left([EU1(I)UM1(I)] - [EU1(I)U1(I)]\right)$$

$$\frac{d}{dt}\,[EU2(I)U2(I)] = N(I)\left([EU2(I)UM2(I)] - [EU2(I)U2(I)]\right)$$

Avec :

$$IU(I) = \frac{EU1(I)}{EU2(I)} \times \frac{h(I)}{H(I)} \qquad JU(I) = \frac{1}{100} \times \frac{D(I)}{H(I)}$$

$$LU(I) = \frac{EU1(I)}{100\,FU(I)EU(I)} \times \frac{D(I+1)}{H(I)}$$

$$KU(I) = \frac{EU1(I)}{100\,FU(I)EU2(I-1)} \times \frac{D2(I-1)}{H(I)}$$

$$MU(I) = \frac{EU1(I)}{100\ FU(I)} \times \frac{D1(I)}{H(I)}\ U10(I) \qquad \text{pour } I = 8$$

$$N(I) = \frac{1}{100}\ \frac{D(I)}{V1(I)}$$

$$D(I) = D1(I) + D10(I)$$

$$IR(I) = \frac{EU2(I)}{EU1(I)} \times \frac{H(I)}{h(I)}$$

$$IS(I) = \frac{FU(I)EU2(I)}{EU1(I)} \times \frac{H(I)}{h(I)}$$

Les coefficients EU1(I), EU2(I), FU(I) représentent les facteurs d'échelle.

PLUTONIUM.

Etages 6 à 14.

$$\frac{d}{dt}\left\{ \frac{1}{FPU(I)} \left([EPU1(I)PUM1(I)] + IPU(I)\ [EPU2(I)PUM2(I)] \right) \right\}$$

$$= - JPU(I) \left\{ \frac{1}{FPU(I)} \left(EPU1(I)PUM1(I)] + IPU(I)\ [EPU2(I)PUM2(I)] \right) \right\}$$

$$+ LPU(I)\ [EPU1(I+1)PU1(I+1)] + KPU(I)\ [EPU2(I-1)]PU2(I-1)]$$

$$+ \left\{ \begin{array}{l} MPU(I) \\ \\ \text{pour } I = 8 \end{array} \right.$$

$$\frac{d}{dt}\,[EPU1(I).PU1(I)] = N(I)\left([EPU1(I)PUM1(I)] - [EPU1(I).PU1(I)]\right)$$

$$\frac{d}{dt}\,[EPU2(I).PU2(I)] = N(I)\left([EPU2(I)PUM2(I)] - [EPU2(I).PU2(I)]\right)$$

Avec :

$$IPU(I) = \frac{EPU1(I)}{EPU2(I)} \times \frac{h(I)}{H(I)} \qquad JPU(I) = \frac{1}{100} \times \frac{D(I)}{H(I)}$$

$$LPU(I) = \frac{EPU1(I)}{100\,FPU(I)EPU(I)} \times \frac{D(I+1)}{H(I)}$$

$$KPU(I) = \frac{EPU1(I)}{100\,FPU(I)EPU2(I-1)} \times \frac{D2(I-1)}{H(I)}$$

$$MPU(I) = \frac{EPU1(I)}{100\,FPU(I)} \times \frac{D1(I)}{H(I)}\ PU10(I) \qquad \text{pour } I = 8$$

$$IPR(I) = \frac{EPU2(I)}{EPU1(I)} \times \frac{H(I)}{h(I)}$$

$$IPS(I) = \frac{FPU(I)EPU2(I)}{EPU1(I)} \times \frac{H(I)}{h(I)}$$

Les coefficients EPU1(I), EPU2(I), FPU(I) représentent les facteurs d'échelle.

A ces équations correspond un schéma analogique global donné dans l'annexe. Ce schéma constitue une synthèse de schémas élémentaires, chaque élément représentant le fonctionnement d'un corps (acide par exemple) dans un étage. La figure 3 montre la structure d'un tel élément.

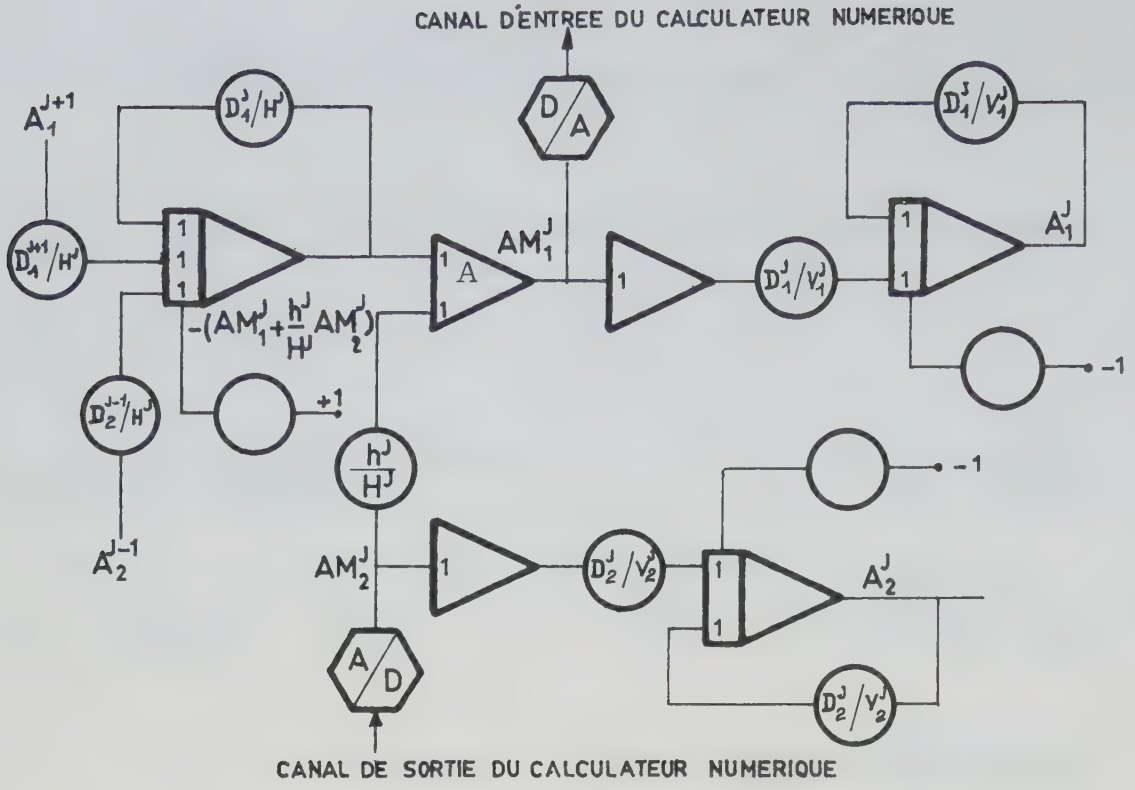


Fig.3 _ SCHEMA ANALOGIQUE RELATIF A UN ÉTAGE ACIDE

Au cours de la mise au point et de la résolution des équations nous n'avons rencontré aucune difficulté particulière propre à la méthode analogique. Il convient de mentionner cependant l'existence d'une instabilité de type électronique, introduite par la boucle algébrique qui calcule la concentration de la phase aqueuse à partir de la somme des concentrations des phases aqueuse et organique et de la concentration de la phase organique (cette dernière, comme nous pouvons le voir sur la figure 3, est calculée par voie numérique, mais le problème resterait le même si elle était calculée par voie analogique). On élimine aisément cette instabilité en connectant une faible capacité entre la sortie et l'entrée de l'amplificateur associé au sommateur A ce qui revient à introduire une constante de temps.

La vérification du câblage et du bon fonctionnement de tous les opérateurs analogiques est effectuée avant chaque mise en route du problème par le programme AFFPOT dont nous avons parlé précédemment.

2° Programmation numérique.

Ce travail est de loin le plus important quant aux difficultés à résoudre et au temps passé pour la mise au point. Le programme correspondant est écrit en langage d'assemblage, uniquement dans le but d'obtenir un gain de temps du cycle de calcul. L'emploi de SEDOR permet de n'utiliser qu'un seul "Run", limité par la donnée TFINAL.

La seule interruption prévue est celle fournie par le TIMER. Les valeurs numériques sont directement envoyées par les convertisseurs D/A sur calculateur analogique. Il n'y a pas emploi d'interpolateurs.

Notre programme peut se décomposer ainsi :

- Données générales du problème.

Dans cette partie, sont fournis l'échelle de temps (on fait ici correspondre 1 seconde machine à 36 secondes réelles : l'évolution du phénomène étant très lente, on a donc accéléré le calcul par rapport au temps réel. Il n'est pas possible de l'accélérer davantage parce que, dans ce cas, les variables ne sont pas traitées assez rapidement par le calculateur numérique et que par suite les résultats sont transmis avec trop de retard au calculateur analogique, ce qui introduit des instabilités ne correspondant pas à la réalité), le choix de l'algorithme d'intégration (Euler), le nombre de variables à intégrer (45), le nombre d'étages simulés par voie hybride (9) et par voie numérique (5), le temps de calcul (TFINAL), la demande de l'utilisation du calculateur hybride (option à définir dans SEDOR), la valeur du pas DT en millisecondes, et enfin la liste des valeurs des "coefficients constants".

- Réservation des mémoires pour les différentes variables.

On forme une table des quantités qui seront intégrées par voie numérique, une table de leurs dérivées, une table des variables qui seront calculées par voie numérique à partir des relations algébriques, une table des conditions initiales permanentes, une table des variables analogiques. Toutes ces tables ont pour but d'assigner, dans un ordre préférentiel des mémoires aux différentes grandeurs ci-dessus.

- Table des différents canaux.

Une table définissant les sorties analogiques (convertisseurs A/D), une autre définissant les sorties numériques (convertisseurs D/A) sont élaborées à partir des trois instructions suivantes :

- adresse de la variable à convertir,
- décalage de l'échelle (en flottant),
- facteur (en flottant).

Il faut numéroter obligatoirement les canaux de conversion utilisés et en indiquer leur nombre (19 canaux A/D, 18 canaux D/A).

- Sous-programme IMP.

Il définit la séquence d'appel du sous-programme d'impression IMPRIM, écrit en Fortran ce qui donne plus de souplesse pour la présentation des résultats. IMP contient uniquement les "arguments" des quantités que l'on désire imprimer. Ce sont les concentrations AM_1^J, AM_2^J, UM_1^J, UM_2^J, PUM_1^J, PUM_2^J, ainsi que la densité des phases DE_1^J et DE_2^J.

Deux types d'impression sont à distinguer :

a) l'impression simple par indicateur (F4),

b) l'impression rythmée définie par deux paramètres (instruction DEPIMP) et le rythme d'impression que l'on s'impose (instruction RYTIMP).

- Sous-programme ICUS.

Il calcule les conditions initiales propres au problème.

- Sous-programme DERIV.

Il calcule et stocke les dérivées des quantités intégrables.

Dans ce sous-programme, les intégrations des équations différentielles correspondant aux étages 9 à 13, sont effectuées par la méthode d'Euler.

Les équations des décanteurs se répètant six fois (deux phases et trois corps), une macro-instruction est utilisée pour simplifier l'écriture du programme correspondant.

- Sous-programme EXNUM.

Il résoud les équations algébriques et transcendantes et effectue toutes les corrections de température et de titre.

Pour simplifier EXNUM et vérifier ce dernier plus rapidement, nous l'avons divisé en plusieurs parties qui exécutent les fonctions suivantes :

a) calcul de l'équation algébrique en acide (FAM2)

b) calcul de l'équation algébrique en uranium (FUM2C)

c) calcul de l'équation algébrique en plutonium (FPUM1)

d) calcul de la correction de température pour l'uranium (CUM2TH)

e) calcul de la correction de température pour l'acide (CAM2TH)

f) calcul de la correction du titre de l'uranium (CUM2T)

g) calcul de la correction du titre de l'acide (CAM2T)

Les différentes parties d'EXNUM traitent donc, sous forme numérique, les équations (4), (5), (6), (13), (14), (15), (16), (17) et (18) présentées au chapitre III.

- Remarque : Dans tous les sous-programmes mentionnés ci-dessus, on a utilisé des registres d'index, et en particulier le registre d'index numéro 2, pour effectuer séquentiellement, au moyen d'une boucle, la résolution des équations relatives aux différents étages ; ces équations sont écrites une fois seulement et, par incrément d'index, on passe d'un étage au suivant jusqu'à épuisement du nombre d'étages considéré.

L'expression transcendante de la forme $e^{e^x - 6,9}$ qui donne la valeur de la concentration de l'uranium en phase organique en fonction des valeurs des concentrations en phase aqueuse de l'uranium et de l'acide, a été calculée, dans un premier temps en utilisant le sous-programme "fonction exponentielle" appartenant à la librairie du calculateur EAI 8400. Mais ce procédé exigeait un temps de calcul trop important aussi a-t-on préféré finalement constituer un générateur de fonction numérique. Un sous-programme Fortran que nous avons appelé PRO a été mis au point dans cette intention. L'expression transcendante écrite ci-dessus est tabulée par pas de 0,1 pour toute valeur de x comprise entre - 10 et 1 et par pas de 0,01 pour toute valeur de x comprise entre 1 et 5. Après lecture dans la tab le, la valeur recherchée de cette expression est interpolée linéairement entre deux pas de tabulation. On trouvera ci-dessous un organigramme de cette interpolation (sous-programme appelé FNCTE) (Figure 4).

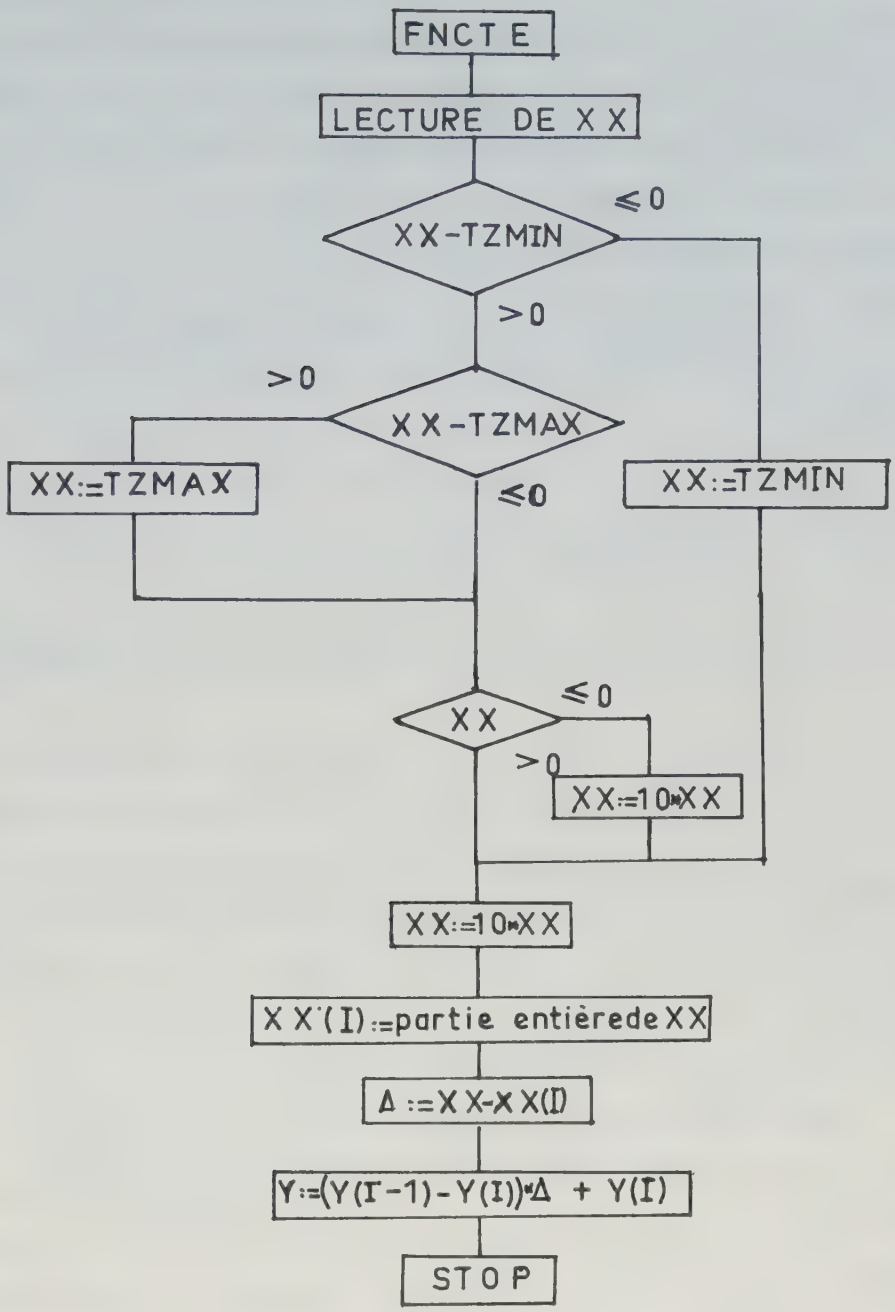

FNCT E
LECTURE DE X X
XX-TZMIN
≤0
>0
>0
XX-TZMAX
XX:=TZMAX
≤0
XX:=TZMIN
XX
≤0
>0
XX:=10*XX
XX:=10*XX
XX'(I):=partie entièrede XX
Δ :=XX-XX(I)
Y:=(Y(I-1)-Y(I))*Δ + Y(I)
STOP

Figure 4.

Le calcul de l'expression algébrique 1/ $(AM_1^J)^{1/3}$ a été réalisé suivant la même méthode que celle utilisée pour le calcul de l'expression transcendante citée précédemment. Nous avons tabulé cette fonction, par l'intermédiaire d'un sous-programme PROG écrit en Fortran, en lui faisant correspondre 500 valeurs (AM_1^J est défini dans un intervalle (0-5) par pas de 0,01) et nous avons, comme précédemment, effectué une interpolation du même type par sous-programme appelé FNCTA.

Le même procédé de calcul a été appliqué pour générer la fonction g_1 (AM_1^J).

Ces différentes modifications ont permis de réduire de 24 ms le temps du cycle de calcul défini plus haut.

- Correction de retard dû à l'existence de la boucle hybride.

Lors des premières études réalisées sur calculateur analogique [5], le calcul de AM_1^J à partir de AM_2^J était élaboré par une boucle représentée sur la figure 5. Cette figure est dotée de la même structure que celle de la figure3 , à la différence près que les convertisseurs analogiques-digitaux et digitaux-analogiques s'y trouvent absents, la chaîne numérique convertisseur AD/calcul de l'équation algébrique/convertisseur DA étant remplacée par un générateur de fonction analogique.

Dans l'étude hybride ici décrite (figure 6) il apparait que le calcul de AM_2^J à partir de AM_1^J n'est pas effectué instantanément comme dans le cas du générateur de fonction, mais avec un retard, somme des retards élémentaires dus à la conversion analogique/numérique, à la résolution de l'équation algébrique, et à la conversion numérique/analogique.

Dans le circuit hybride de la figure 6, il est nécessaire de corriger ce retard par une méthode de prédiction de façon à éviter que AM_1^J et AM_2^J ne soient pas définis à des instants différents ce qui introduirait une importante instabilité empêchant l'obtention de la solution.

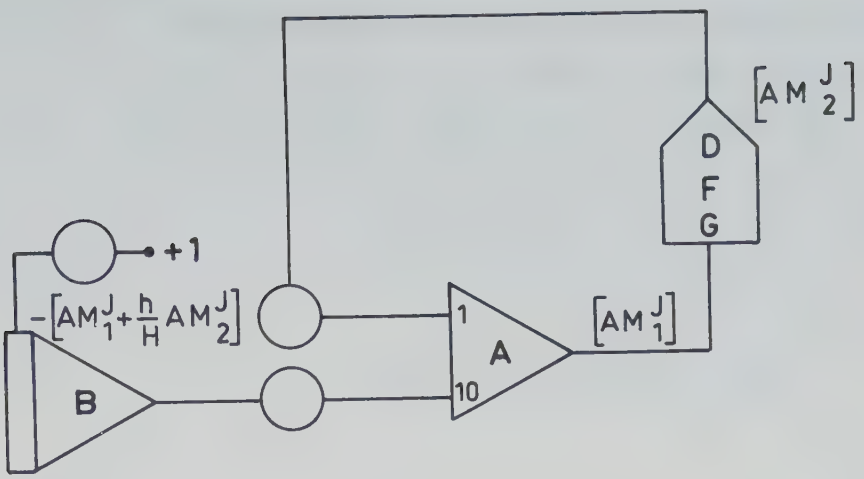


Figure 5 _ Circuit analogique

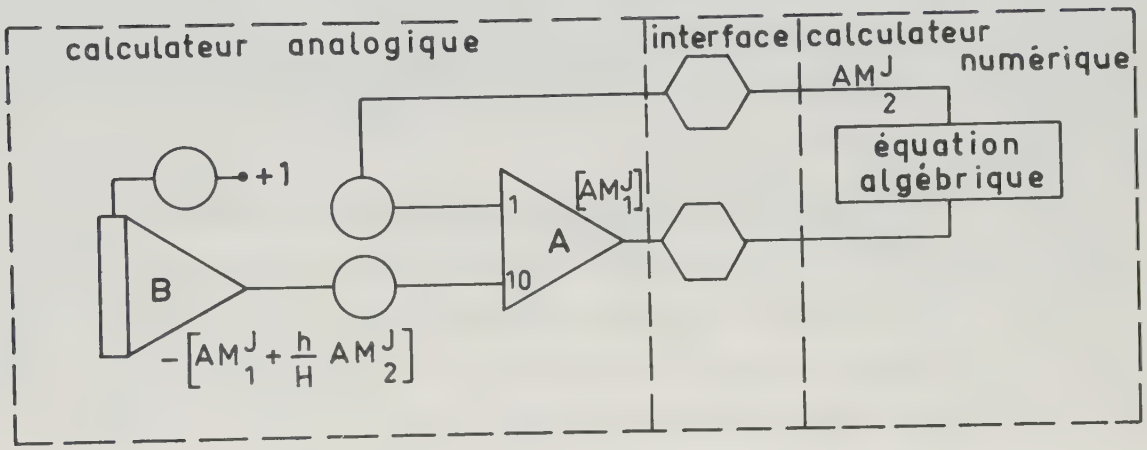


Figure 6 _ Circuit hybride

Considérons alors les équations (1) et (4) qui, pour un étage J, donnent les valeurs des concentrations de l'acide dans les deux phases :

(1) $$\frac{d}{dt}\left(AM_1^J + \frac{h}{H} AM_2^J\right) = D_1^{J+1} A_1^{J+1} + D_2^{J-1} A_2^{J-1} - D_1^J AM_1^J - D_2^J AM_2^J$$

(4) $$AM_2^J = f_1 (AM_1^J , UM_1^J, UM_2^J)$$

A un instant t, la quantité $AM_1^J + \frac{h}{H} AM_2^J$ qui figure à la sortie de l'amplificateur B a une valeur bien déterminée, soit K , de sorte que l'équation (a) représente une droite D dans le plan AM_1, AM_2 :

(a) $$AM_1^J + \frac{h}{H} AM_2^J = K$$

On voit que, dans le même plan, l'équation (4) représente une courbe Γ . Il résulte que le couple (AM_1^J, AM_2^J) est à l'instant t défini par l'intersection de D et de Γ .

Compte tenu des retards indiqués précédemment, il est évident que le calculateur numérique ne peut fournir à l'instant t mais à l'instant $(t + \Delta t)$ la valeur AM_2 (t) correspondant à AM_1 (t). Aussi est-il nécessaire de faire une extrapolation pour avoir à l'instant t sinon la valeur exacte AM_2^J (t) du moins une valeur suffisamment approchée AM_2^{*J} (t).

Dans ces conditions supposons connus à l'instant $t - \Delta t$ $AM_1^J (t - \Delta t)$ et $AM_2^J (t - \Delta t)$ dont le point représentatif est M sur la figure 7. Introduisons alors les quatre points intermédiaires N, Q, P, R.

N est déterminé en supposant que, entre les instants $t - \Delta t$ et t, le calculateur analogique a évolué tandis que le calculateur numérique reste figé.

Les coordonnées de N sont donc :

$$N \begin{cases} X_N = AM_1^J (t - \Delta t) = X_M & \text{(quantité numérique)} \\ Y_N = AM_2^{'J} (t) & \text{(valeur prise à la sortie d'un convertisseur analogique digital = valeur analogique)} \end{cases}$$

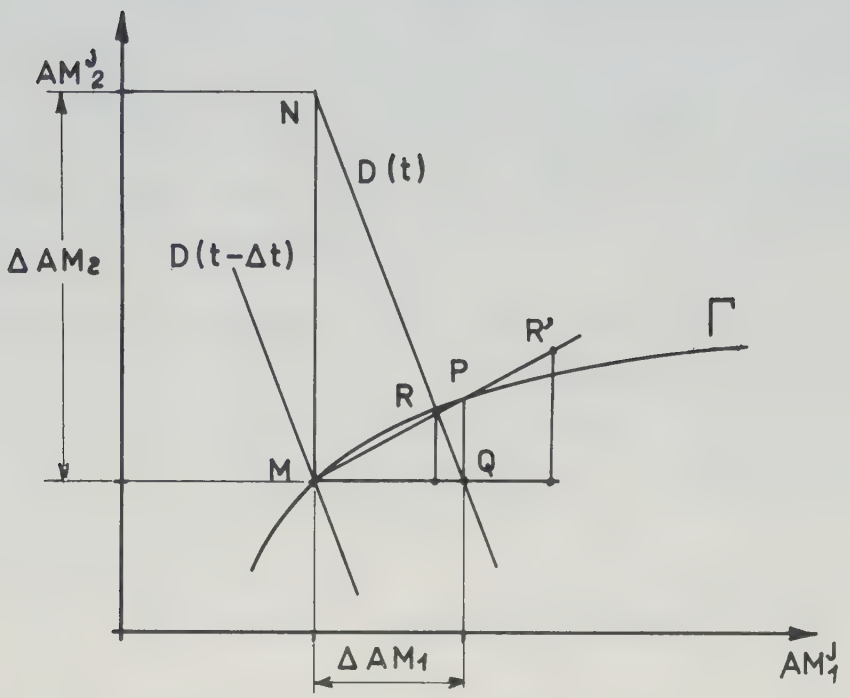


Figure 7

N est supposé sur la droite D (t) de bilan à l'instant (t) ce qui peut être traduit par la relation :

$$AM_1^J (t - \lambda t) + \frac{h}{H} AM_2^{'J} (t) = K$$

A partir de la différence des ordonnées des points N et M, on obtient alors :

$$y_N - y_M = AM_2'^J(t) - f_1\left(AM_1^J(t-\Delta t), AM_2^J(t-\Delta t), UM_1^J(t-\Delta t)\right) = \Delta AM_2^J$$

En différentiant la relation (a) à l'instant t, il vient :

$$\Delta AM_1^J = -\frac{h}{H}\Delta AM_2^J$$

et par suite :

$$\Delta AM_1^J = -\frac{h}{H}\left(AM_2'^J(t) - f_1\left(AM_1^J(t-\Delta t), AM_2^J(t-\Delta t), UM_1^J(t-\Delta t)\right)\right)$$

Par construction Q est le point d'abscisse $AM_1^J(t-\Delta t) + \Delta AM_1^J$ et de même ordonnée que M.

$$Q \begin{cases} x_Q = AM_1'^J(t) = AM_1^J(t-\Delta t) + \Delta AM_1^J \\ y_Q = f_1(AM_1^J(t-\Delta t)) = y_M \end{cases}$$

Le point Q se trouve alors sur la droite de bilan D (t) à l'instant t :

$$AM_1'^J(t) + \frac{h}{H} f_1\left(AM_1^J(t-\Delta t)\right) = K$$

P est le point de même abscisse que le point Q, les coordonnées vérifiant la relation (4) :

$$P \begin{cases} x_P = AM_1^{'J}(t) = x_Q \\ y_P = f_1\left(AM_1^{'J}(t)\right) = f_1\left(AM_1^{J}(t - \Delta t) + \Delta AM_1\right) \end{cases}$$

R est l'intersection des droites MP et NQ d'équations :

$$(N\,Q) \quad y = y_N + (x - x_N)\,\frac{y_Q - y_N}{x_Q - x_N}$$

$$(M\,P) \quad x = x_M + (y - y_M)\,\frac{x_P - x_M}{y_P - y_M}$$

de sorte que ses coordonnées sont :

$$R \begin{cases} x_R = x_M + \dfrac{x_P - x_M}{1 - \dfrac{y_P - y_M}{y_M - y_N}} = x_M + \dfrac{\dfrac{h}{H}\,\Delta AM_2}{1 - \dfrac{y_P - y_M}{\Delta AM_2}} \\ y_R = y_M + \dfrac{y_P - y_M}{1 - \dfrac{y_P - y_M}{y_M - y_N}} = y_M + \dfrac{y_P - y_M}{1 - \dfrac{y_P - y_M}{\Delta AM_2}} \end{cases}$$

Pour tenir compte du retard introduit par le calculateur numérique dans l'élaboration de l'ordonnée de R, on prend pour solution au temps t les coordonnées du point R' de façon à introduire la correction de temps nécessaire (avance de phase).

Cette avance est déterminée comme suit :

$$x_{R'} = x_R + (x_R - x_M) = x_M + 2\Delta x_M$$

$$y_{R'} = y_R + (y_R - y_M) = y_M + 2\Delta y_M$$

d'où les coordonnées du point R'

$$x_{R'} = x_M + \frac{2\frac{h}{H}\ \Delta AM_2}{1 - \frac{y_P - y_M}{\Delta AM_2}}$$

$$y_{R'} = y_M + \frac{2\ (y_P - y_M)}{1 - \frac{y_P - y_M}{\Delta AM_2}}$$

Remarque : Une correction semblable est effectuée lors du calcul de l'uranium.

V. REPONSE DU SYSTEME SIMULE A DIVERSES PERTURBATIONS.

Les recherches effectuées dans ce chapitre ont pour but de déterminer les régimes transitoires de la batterie lorsque celle-ci est soumise à des perturbations en forme d'échelon. Les perturbations sont réalisées sur les variables d'entrées A_{10}, A'_{10}, U_{10}, Pu_{10}, D'_1, D_1, D_2.

Les recherches ont aussi pour but de localiser l'accumulation du plutonium (qui est un phénomène dangereux) afin de pouvoir définir des valeurs de consigne qui améliorent la sécurité du personnel vis à vis du processus.

Il faut observer, durant les transitoires et aux équilibres, en quel pot* l'accroissement de la concentration de plutonium est maximal .

Les conditions initiales sont choisies comme étant celles de l'équilibre obtenu pour les valeurs nominales des variables d'entrée. Le tableau 1 où les concentrations sont exprimées en g/l pour l'uranium, en mg/l pour le plutonium, et en mole/l pour l'acide, en fournit les valeurs. Celui ci-dessous définit l'amplitude des perturbations effectuées sur les différentes grandeurs.

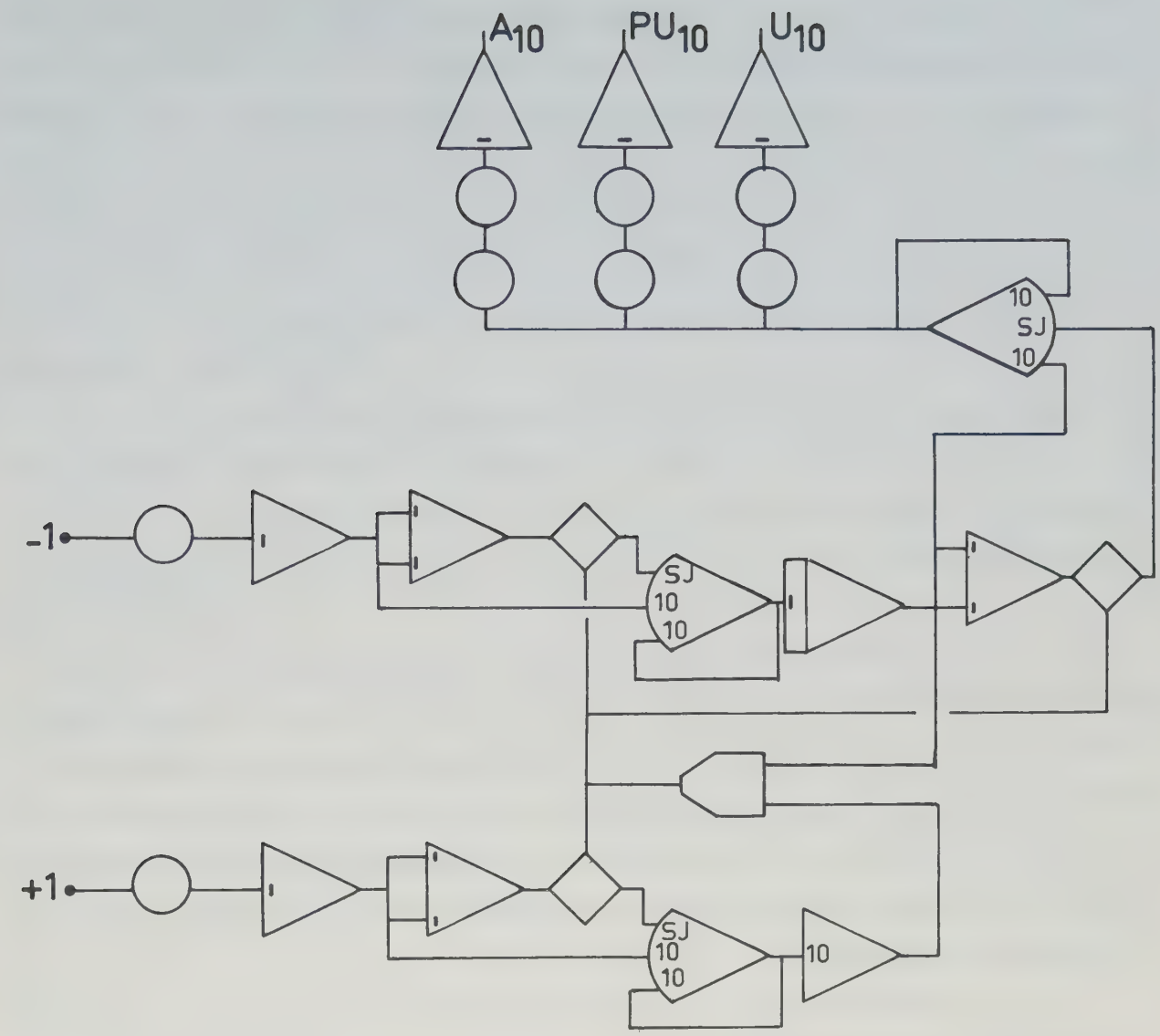
---

* On utilise indifféremment l'appellation pot ou étage.

TABLEAU I

Conditions initiales des différentes concentrations
pour les 14 étages

UM1	UM2	AM1	AM2	PUM1	PUM2
0	0	2,012	0,4223	0	0
0	0	3,183	0,6686	0	0
0	0	3,913	0,8221	0	0
0	0	4,352	0,8402	0	0
0	0	4,402	0,8487	0	0
0,54464	9,8198	4,5864	0,8309	0,13233	1,2836
11,240	80,359	4,4643	0,55312	111,20	427,70
225,09	123,12	3,7601	0,001	1186,6	349,22
184,47	121,13	3,1527	0,001	956,58	337,94
164,81	119,95	2,8004	0,001	845,30	330,99
157,42	118,53	2,0436	0,012875	795,81	322,37
143,95	116,34	2,0732	0,020253	712,14	309,62
120,88	112,53	2,2780	0,033676	577,57	289,28
64,521	99,912	2,2638	0,10465	311,39	259,42



- Simulation analogique de dents de scie -

Figure 8.

Variables d'entrée	Valeur nominale	Amplitude de l'échelon de perturbation
A_{10}	2 moles/l	$\pm$ 10 %
A'_{10}	3 moles/l	$\pm$ 10 %
U_{10}	400 g/l	$\pm$ 2,5 %
Pu_{10}	960 mg/l	$\pm$ 5 %
D'_1	36,575 l/h	$\pm$ 5 %
D_1	100 l/h	$\pm$ 2 %
D_2	382,5 l/h	$\pm$ 2 %

Il était intéressant de considérer, et c'est ce qui a été fait, aussi le comportement de la batterie lorsque son entrée est soumise à des variations en forme de dents de scie. Celles-ci affectent les variables d'entrée A_{10}, U_{10}, Pu_{10}. L'amplitude des dents est $\pm$ 2,5 % par rapport aux valeurs nominales et la période est 1, 2, ou 3 heures. Cette perturbation, simulée sur la partie analogique du calculateur hybride, est représentée par le schéma de la figure n° 8 .

Dans ce document essentiellement orienté vers les problèmes d'informatique et d'automatisme nous n'insisterons pas sur l'interprétation que donnent les chimistes aux résultats obtenus.

V.1. Perturbations de charge en forme d'échelon.

Leurs actions diffèrent suivant qu'il s'agit de perturbations effectuées sur les concentrations d'acide, d'uranium ou de plutonium. Elles diffèrent également suivant le signe de ces perturbations.

Si nous considérons les perturbations dites de "charge" sur l'acide - c'est-à-dire les variations de $\pm$ 10 % sur A_{10} à l'étage 8 ou sur A'_{10} à l'étage 14 - nous remarquons que leur influence est assez faible et locale : leur action n'a d'effet que sur l'étage perturbé et sur la concentration de l'acide seulement. Il faut signaler que l'équilibre est atteint relativement vite (4 h) dans le cas des perturbations négatives ; dans le cas des perturbations positives, au contraire, une dérive de l'équilibre apparait, entraînant, avec la perturbation, une décroissance des concentrations de l'uranium et du plutonium.

Une perturbation de charge de - 2,5 % sur U_{10} provoque un transitoire d'une vingtaine d'heures.

Un échelon de - 5 % sur Pu_{10} influe seulement sur le plutonium sans réaction sur l'acide et l'uranium et un nouvel équilibre est obtenu en quelques heures.

Il n'en est plus de même dans le cas des sauts positifs de même amplitude. Après un saut de l'uranium nous observons au bout de 7 heures dans l'étage 8, que la concentration en uranium passe de 225 g à 315 g et que celle du plutonium passe de 1,18 g à 1,54 g ; dans l'étage 7, l'évolution est encore plus importante, l'uranium évoluant de 11 g à 100 g et le plutonium de 0,111 g à 0,878 g. En ce qui concerne les sauts positifs de plutonium, les essais doivent être limités à des perturbations inférieures à 5 % pour ne pas créer de dépassements dangereux de concentration de plutonium.

V.2. Perturbations de débits en forme d'échelon.

Dans le cas de sauts de $\pm$ 5 % sur le débit aqueux D'_1, le calcul montre que lorsque la perturbation est négative un équilibre stable est atteint au bout d'une dizaine d'heures, tandis que l'équilibre est très long à obtenir lorsque la perturbation est positive.

Dans le cas de saut de $\pm$ 2 % sur le débit D_1, nous observons que le système est très légèrement perturbé et qu'il n'y a pas risque d'accumulation en plutonium.

Au contraire, les perturbations exercées sur le débit du solvant ont une action importante sur le fonctionnement de la batterie, plus particulièrement dans le cas de perturbations négatives qui entraînent une forte tendance à l'accumulation de plutonium dans les pots 7 et 8 et un risque très important sur le plan de la sécurité de l'installation.

V.3. Perturbations de charge en forme de dents de scie.

Dans le cas des perturbations en forme de dents de scie, les résultats montrent que le processus ne se stabilise pas : il ne semble pas que soit atteint de régime permanent, du moins durant l'intervalle de temps considéré (environ 11 heures), et il en résulte un accroissement moyen continu de l'ensemble des concentrations de l'uranium et du plutonium.

V.4. Conclusion.

Des résultats précédents, il est possible de conclure que la marge admissible de fonctionnement de la batterie est relativement faible. En effet toute variation, par rapport à l'équilibre, de la charge de l'uranium ne doit pas dépasser + 2,5 % et toute variation, par rapport à l'équilibre, de la charge du plutonium doit être limitée à + 5 %.

Il est à noter que les variations maximales des concentrations en uranium et plutonium dues aux perturbations précitées se situent dans les pots 7 et 8. Par contre les variations en uranium et plutonium sont très faibles dans les pots 9 à 13 qui constituent, rappelons-le, la section de lavage.

D'une façon générale, nous constatons que la batterie présente une stabilité plus grande lorsque les perturbations qui lui sont apportées entraînent une diminution des concentrations dans les différents pots.

Dans le but d'améliorer les conditions de stabilité et d'éviter des accumulations indésirables de plutonium, il nous est apparu souhaitable d'introduire un système de régulation dont la variable d'action est le débit organique D_2. Nous trouvons au chapitre suivant l'étude et la justification de ce système.

VI. REGULATION

Un problème qui se pose dans l'étude du fonctionnement d'une batterie d'extraction est d'obtenir, compte tenu des modifications fréquentes réalisées par les utilisateurs sur certaines grandeurs d'entrée , une concentration constante et bien déterminée de l'uranium et du plutonium dans certains pots, en particulier dans le pot 8.

Dans ce but il est pensable de réaliser un dispositif de régulation où l'on comparerait la valeur de la concentration de l'uranium dans le pot 8 à une valeur de consigne. Il n'est malheureusement pas possible d'obtenir la mesure continue dans le temps de la concentration de l'uranium sur une batterie de sorte qu'une régulation de ce type ne peut être prise directement en considération.

Par contre nous remarquons qu'il est possible de mesurer à tout instant la densité de la phase aqueuse et par suite d'envisager de réguler à l'aide de cette grandeur, laquelle est liée à la variation de la concentration de l'uranium. Il en résulte une régulation indirecte de cette dernière.

Il reste à déterminer quelle variable d'action doit être choisie pour remplir ce but.

Les résultats obtenus au chapitre précédent ont montré les influences variées des diverses variables étudiées. Nous avons pu constater que le débit du solvant présentait une plus forte influence sur le fonctionnement de la batterie que le débit de la phase aqueuse. Aussi notre choix

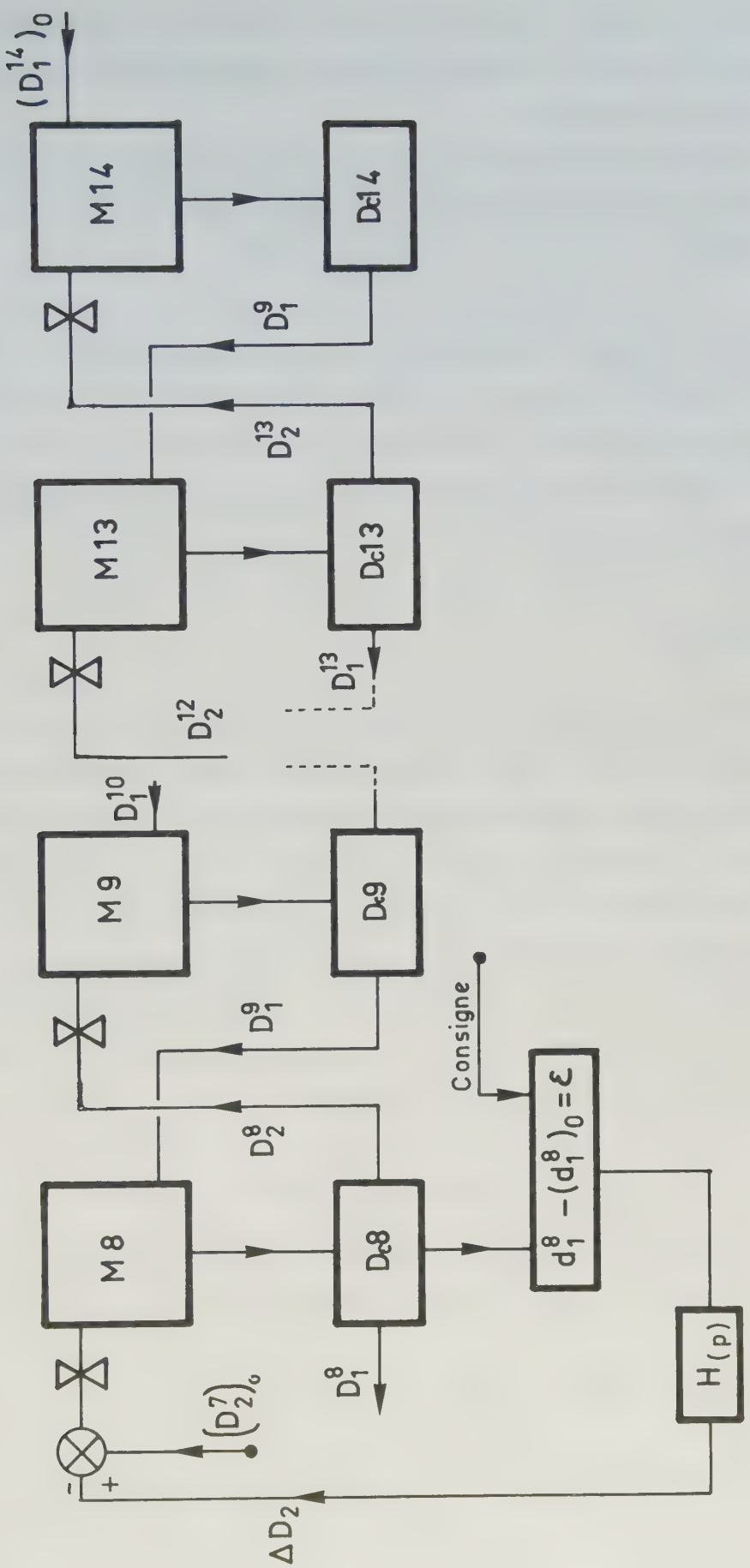


Fig.9 - Schéma de principe de la régulation.

s'est-il porté sur le débit du solvant, restant entendu que les variations de ce dernier doivent demeurer faibles de façon à répondre au critère de bon fonctionnement de la batterie.

Le principe de la régulation est donc le suivant : l'état du système est donné à chaque instant par la mesure de la densité de la phase aqueuse, la régulation se fait sur le débit du solvant.

Le pot 8 étant le plus représentatif du phénomène, la détection, c'est-à-dire la valeur de la densité qui est comparée à la valeur de consigne, est réalisée sur ce pot. L'action, c'est-à-dire les perturbations de débit définies précédemment, s'effectue simultanément sur les pots 8 à 14.

Le schéma de principe de la régulation que nous avons étudiée est représenté par la figure n° 9 .

VI. 1. Formulation.

Nous mesurons à la sortie du décanteur du pot 8 la valeur instantanée de la densité d_1^8 de la phase aqueuse. Nous comparons la valeur obtenue à la valeur de consigne et nous élaborons à partir de cette différence un signal d'erreur comportant trois composantes, proportionnelle, intégrale et dérivée. Nous supposons que le temps de réponse des organes de commande qui assurent les variations de débits est négligeable devant le temps d'évolution des phénomènes physico-chimiques dont la batterie est le siège. Cette assertion revient à écrire que la valeur instantanée du débit solvant D_2^7 entrant dans le pot 8 est défini par la relation :

$$(19) \qquad D_2^7 - (D_2^7)_0 = k_1(\varepsilon + k_2 \int_o^t \varepsilon \, dt + k_3 \frac{d\varepsilon}{dt})$$

Il en résulte que le débit D_2^8 à la sortie du pot 8 est variable. On admet que, dans ces conditions, les débits suivants lui sont égaux.

$$D_2^8 = \ldots = D_2^{13} = D_2^{14}$$

Les variations imposées par la régulation sur les D_2^J pour

les étages 8 à 14 entrainent des variations des D_1^J dans ces mêmes étages.

VI. 1.A. Considérons d'abord le fonctionnement de l'étage 8. Compte tenu de la conservation du volume de l'émulsion, il vient :

$$\frac{d}{dt} D_1^8 + \left(\frac{f_8}{VM_1} - \frac{1}{f_8} \frac{df_8}{dt} \right) D_1^8 - \frac{f_8}{VM_1} D_1^9 = 0 \tag{20}$$

avec la relation

$$D_1^8 + D_2^8 = f_8 = D_1^9 + D_2^7 \tag{21}$$

Les équations relatives au bilan des trois corps - acide, uranium, plutonium - dans cet étage se trouvent modifiées puisque le rapport $\frac{h^J}{H^J} = \frac{D_2^J}{D_1^J}$ n'est plus constant. Elles s'écrivent :

$$\frac{d}{dt} \left(AM_1^8 + \frac{1}{\alpha_t} AM_2^8 \right) = - \frac{f_8}{VM} \left(AM_1^8 + \frac{1}{\alpha_t} AM_2^8 \right) + \frac{D_1^9}{H^8} A_1^9 + \frac{D_2^7}{H^8} A_2^7 + \frac{D_1^8}{H^8} A_{10} \tag{22}$$

$$\frac{d}{dt} \left(UM_1^8 + \frac{1}{\alpha_t} UM_2^8 \right) = - \frac{f_8}{VM} \left(UM_1^8 + \frac{1}{\alpha_t} UM_2^8 \right) + \frac{D_1^9}{H^8} U_1^9 + \frac{D_2^7}{H^8} U_2^7 + \frac{D_1^8}{H^8} U_{10} \tag{23}$$

(24) $$\frac{d}{dt}\left(PUM_1^{\,8} + \frac{1}{\alpha_t} PUM_2^{\,8}\right) = -\frac{f_8}{VM}\left(PUM_1^{\,8} + \frac{1}{\alpha_t} PUM_2^{\,8}\right) + \frac{D_1^{\,9}}{H^8} PU_1^{\,9} + \frac{D_2^{\,7}}{H^8} PU_2^{\,7} + \frac{D_1^{\,8}}{H^8} PU_{10}$$

avec $$\alpha_t = \frac{D_1^{\,8}}{f_8 - D_1^{\,8}} \qquad (25)$$

VI.1.B. A l'étage 14, le débit et la concentration sont définis par des relations du même type que celles indiquées au paragraphe VI.I.A. Il en résulte les équations suivantes :

(26) $$\frac{d}{dt} D_1^{\,14} + \left(\frac{f_{14}}{VM_1} - \frac{1}{f_{14}} \frac{df_{14}}{dt}\right) D_1^{\,14} - \frac{f_{14}}{VM_1} (D_1^{\,14})_0 = 0$$

(27) $$f_{14} = f_8 - D_1^{\,8} + (D_1^{\,14})_0$$

(28) $$\frac{d}{dt}\left(AM_1^{\,14} + \frac{1}{\alpha_{t_1}} AM_2^{\,14}\right) = -\frac{f_{14}}{VM}\left(AM_1^{\,14} + \frac{1}{\alpha_{t_1}} AM_2^{\,14}\right) + \frac{D_2^{\,13}}{H^{14}} A_2^{\,13} + \frac{D_1^{\,14}}{H^{14}} A'_{10}$$

(29) $$\frac{d}{dt}\left(UM_1^{\,14} + \frac{1}{\alpha_{t_1}} UM_2^{\,14}\right) = -\frac{f_{14}}{VM}\left(UM_1^{\,14} + \frac{1}{\alpha_{t_1}} UM_2^{\,14}\right) + \frac{D_2^{\,13}}{H^{14}} U_2^{\,13}$$

$$(30) \qquad \frac{d}{dt}\left(PUM_1^{14} + \frac{1}{\alpha t_1} PUM_2^{14}\right) = -\frac{f_{14}}{VM}\left(PUM_1^{14} + \frac{1}{\alpha t_1} PUM_2^{14}\right) + \frac{D_2^{13}}{H^{14}} PU_2^{13}$$

$$\text{avec} \quad \alpha t_1 = \frac{D_1^{14}}{f_{14} - D_1^{14}} \qquad (31)$$

VI.I.C. Pour les étages intermédiaires 9 à 13, le calcul des D_1^J a été supprimé. Il a été admis en effet qu'il était possible d'adopter pour valeur des débits aqueux la valeur correspondant au $14^{ème}$ étage, soit D_1^{14}. Dans ces conditions, nous avons les égalités ci-dessous :

$$D_1^9 = D_1^{10} = \ldots = D_1^{13} = D_1^{14}$$

VI.I.D. Remarques:

1) Lors de la résolution des équations (20) et (26), nous avons négligé, du fait de sa très faible valeur, le produit $\frac{1}{f_J} \frac{d}{dt} f_J$ devant $\frac{f_J}{VM_1}$. Mais la suppression de ce produit entraîne que, à l'équilibre, l'action de la régulation n'est plus correctement représentée : en effet une variation de la valeur de consigne ne crée pas, d'après ces équations, de variation de débit D_1^J, ce qui est contraire à l'action réelle de la régulation que l'on se propose de réaliser. Il faut donc, pour les étages 8 et 14, ajouter les termes correctifs suivants :

$$\Delta D_1^{\,8} = \frac{\alpha_t \, \Delta D_2}{1 - \alpha t_1 (1 - \alpha_t)}$$

$$\Delta D_1^{\,14} = \frac{\alpha t_1 (1 - \alpha_t) \, \Delta D_2}{1 - \alpha t_1 (1 - \alpha_t)}$$

lorsque, à l'état d'équilibre, une perturbation est introduite.

2) Nous nous sommes imposés pour rester dans les normes physiques de fonctionnement de limiter les variations du débit de la phase organique. La régulation est seulement branchée lorsque les variations de débit sont telles que

$$0,1\ \% \ (D_2^{\,J})_0 < \Delta D_2 < 2,5\ \% \ (D_2^{\,J})_0$$

soit $382,8\ \text{l/h} < D_2^{\,J} < 392\ \text{l/h}.$

VI.2. Réalisation.

Les équations relatives à la régulation sont entièrement résolues par la partie analogique du calculateur hybride. Le schéma analogique correspondant est représenté sur la figure n° 10 .

Les équations relatives au processus lui-même sont résolues comme au chapitre V. Il résulte que, par rapport au schéma analogique mis au point au chapitre précédent, des opérateurs complémentaires ont dû être introduits, en particulier 12 multiplieurs.

REGULATION

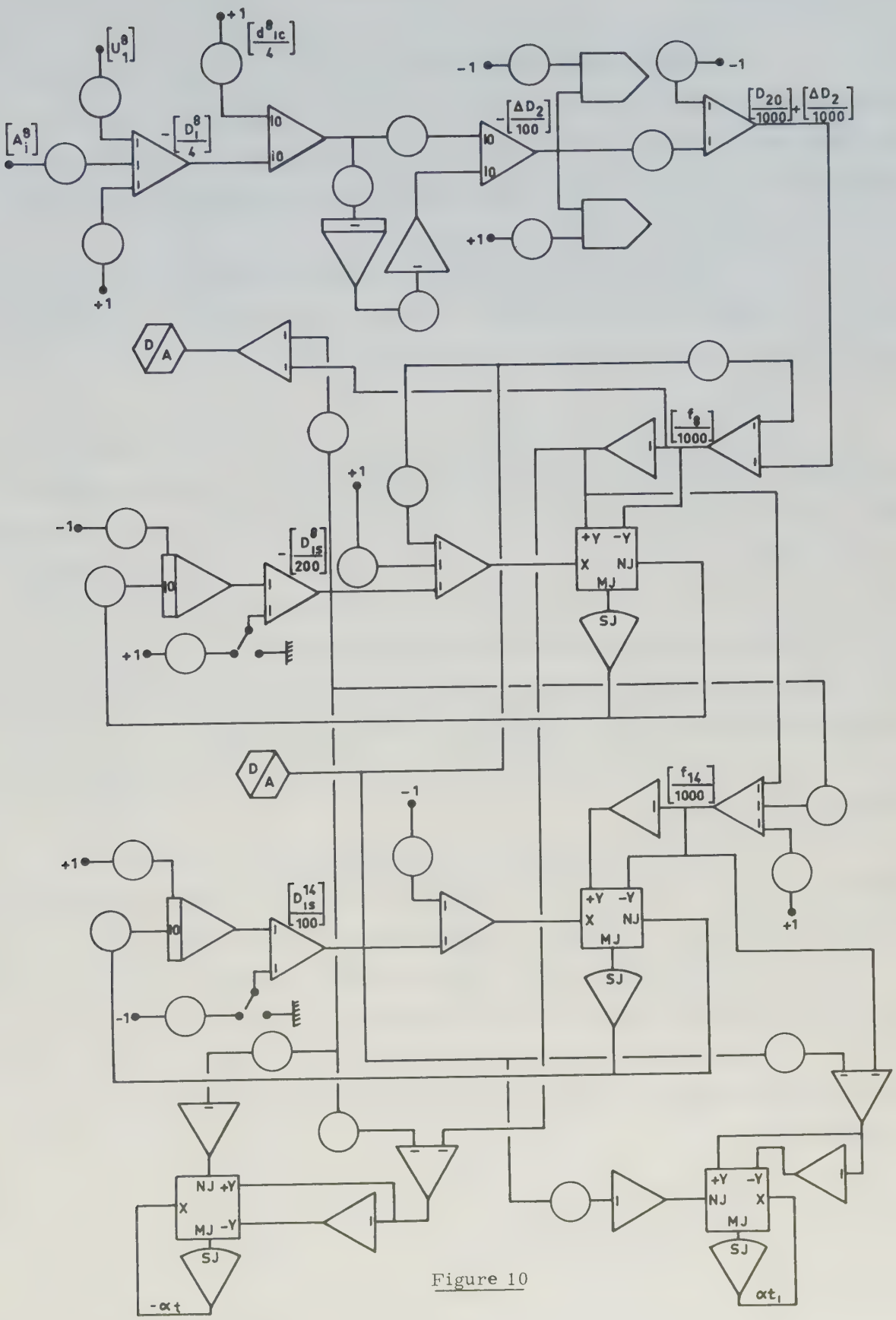


Figure 10

VI.3. Programme.

Il consiste en l'étude de l'action de la régulation après avoir créé des perturbations de différentes natures. Les conditions initiales, qui représentent d'ailleurs un état d'équilibre, sont légèrement différentes de celles définies lors de l'étude du processus non régulé (chapitre V). Elles sont rassemblées dans le tableau T_2 ci-joint.

Nous avons pris un débit de solvant égal à 372 l/h dans les étages 1 à 7, tandis que nous avons conservé un débit de 382,5 l/h dans les étages 8 à 14. Le volume VM_1 a pour valeur 234 l.

Les essais ont d'abord porté sur une batterie réduite à un seul étage. La régulation comporte alors seulement une action proportionnelle. Des variations continues de 5 à 10 % relatives à la valeur de consigne sont réalisées manuellement sous forme de rampes ; des perturbations de $\pm$ 5 % sur la concentration de l'uranium à l'entrée sont également effectuées. Nous observons, en fonction de la valeur du coefficient k_1, le temps mis pour obtenir un équilibre, les périodes d'oscillations, les écarts de cet équilibre par rapport à celui du régime permanent.

Puis les mêmes essais sont recommencés en ajoutant l'action intégrale à la régulation.

Nous passons ensuite à la généralisation, c'est-à-dire à l'étude de la batterie entière. Des essais semblables sont effectués qui permettent de déterminer les valeurs les plus efficaces des coefficients k_1 et k_2.

En outre quelques essais périodiques sont analysés. L'étude s'achève par des perturbations de débit comportant ou non un bruit de fond.

L'action du terme dérivé présentant a priori moins d'intérêt, compte tenu de la lente réaction des phénomènes, seuls quelques essais sont étudiés.

TABLEAU II

Conditions initiales des différentes concentrations

pour les 14 étages

UM1	UM2	AM1	AM2	PUM1	PUM2
0	0	2,012	0,4223	0	0
0	0	3,183	0,6686	0	0
0	0	3,913	0,8221	0	0
0	0	4,352	0,8402	0	0
0	0	4,402	0,8487	0	0
0,61215	4,3288	4,2309	0,86373	11,349	43,178
11,491	80,999	4,5054	0,45970	113,93	432,07
220,62	122,66	3,6389	0,001	1175,8	351,70
194,55	121,32	2,7036	0,001	1016,6	341,08
175,66	120,22	2,1689	0,001	908,46	334,50
160,19	119,37	2,2481	0,001	819,63	328,58
147,56	117,25	2,3186	0,00624	739,34	316,06
125,88	113,57	2,3641	0,02672	609,84	296,03
84,206	105,43	2,4986	0,08424	386,16	260,12

VI.4. Résultats.

VI.4.A. Etude d'un seul étage.

Afin d'éviter d'écrire un programme particulier relatif au fonctionnement d'un seul étage et de sa régulation, nous avons isolé l'étage 8 du programme général décrivant le comportement de la batterie entière (chapitre IV). C'est sur cet étage que porteront les différents essais et que seront analysées les évolutions des variables de sorties en fonction des perturbations et des valeurs attribuées aux coefficients de régulation.

1. Changement de valeur de consigne.

Il est nécessaire de distinguer les phénomènes suivant que les variations du débit de la phase organique D_2 sont faibles ou élevées. Lorsque l'action proportionnelle est seule branchée, les variations de D_2 sont fonctions de la valeur de k_1. Elles sont négligeables lorsque cette dernière est faible, quelque soit d'ailleurs le changement imposé à la valeur de consigne (figure 11-2). Il en résulte que le nouvel équilibre obtenu diffère sensiblement de l'équilibre initial si, et seulement si, le coefficient k_1 est élevé (figure 11-1).

Les résultats sont différents lorsque l'on superpose à celle-ci l'action intégrale (figure 12). Nous notons que les concentrations d'uranium et de plutonium correspondant à l'équilibre défini par la valeur de consigne n'atteignent cet équilibre que pour des valeurs de k_2 suffisamment élevées

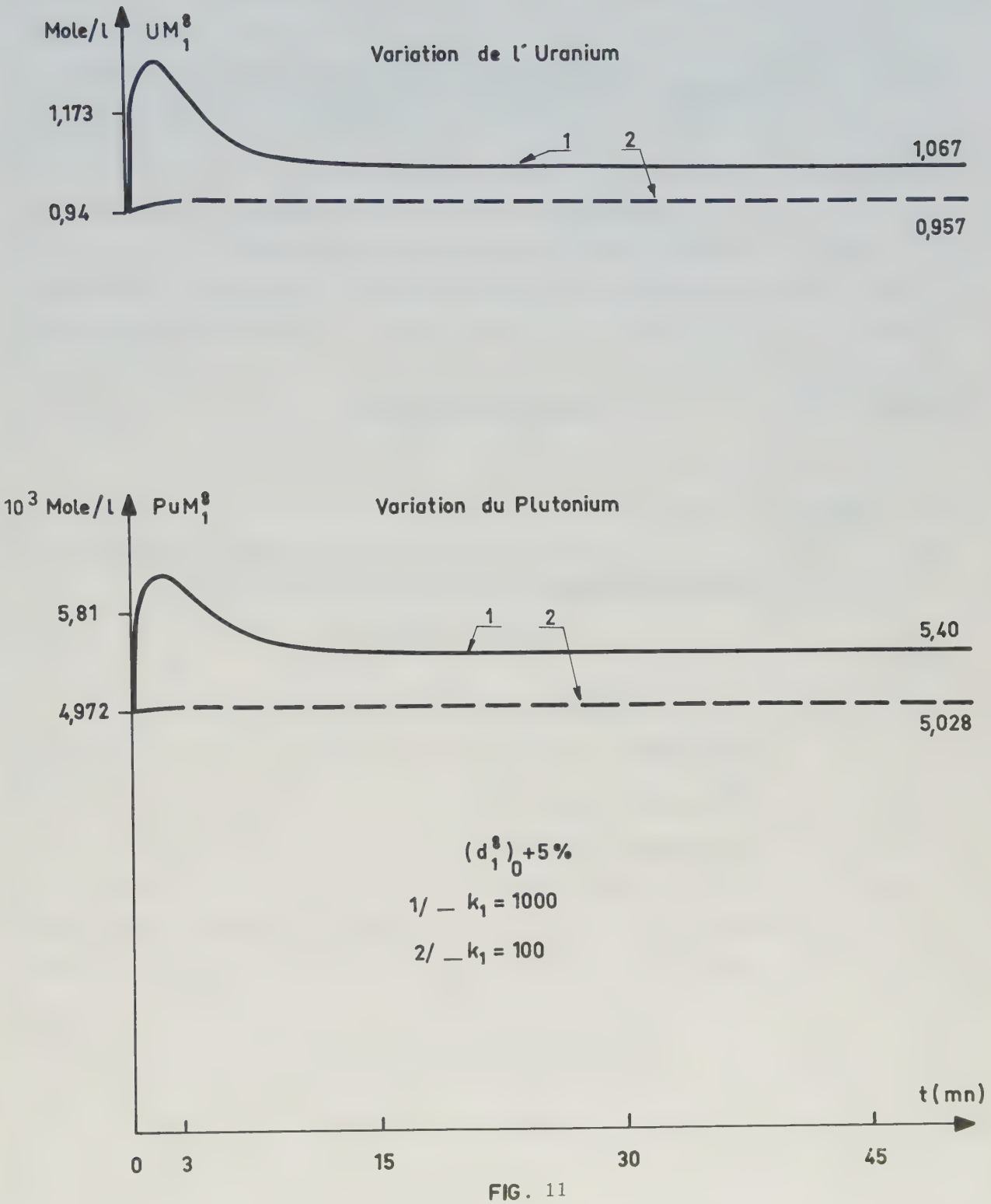
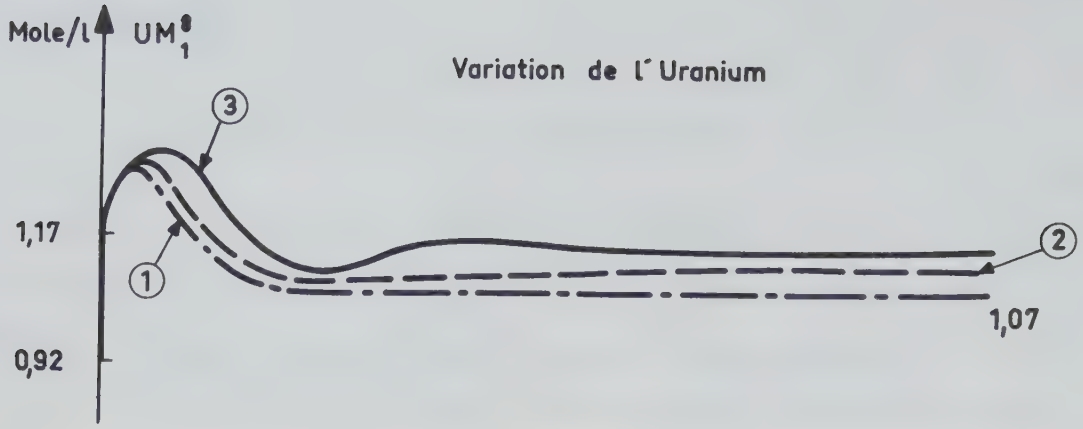

Mole/l
UM_1^8
Variation de l' Uranium
1,173
0,94
1
2
1,067
0,957
10^3 Mole/l
PuM_1^8
Variation du Plutonium
5,81
4,972
1
2
5,40
5,028
$(d_1^8)_0$ +5 %
1/ _ k_1 = 1000
2/ _ k_1 = 100
t (mn)
0
3
15
30
45

FIG. 11


Mole/l
UM_1^s
Variation de l'Uranium
1,17
0,92
1,07
1
2
3

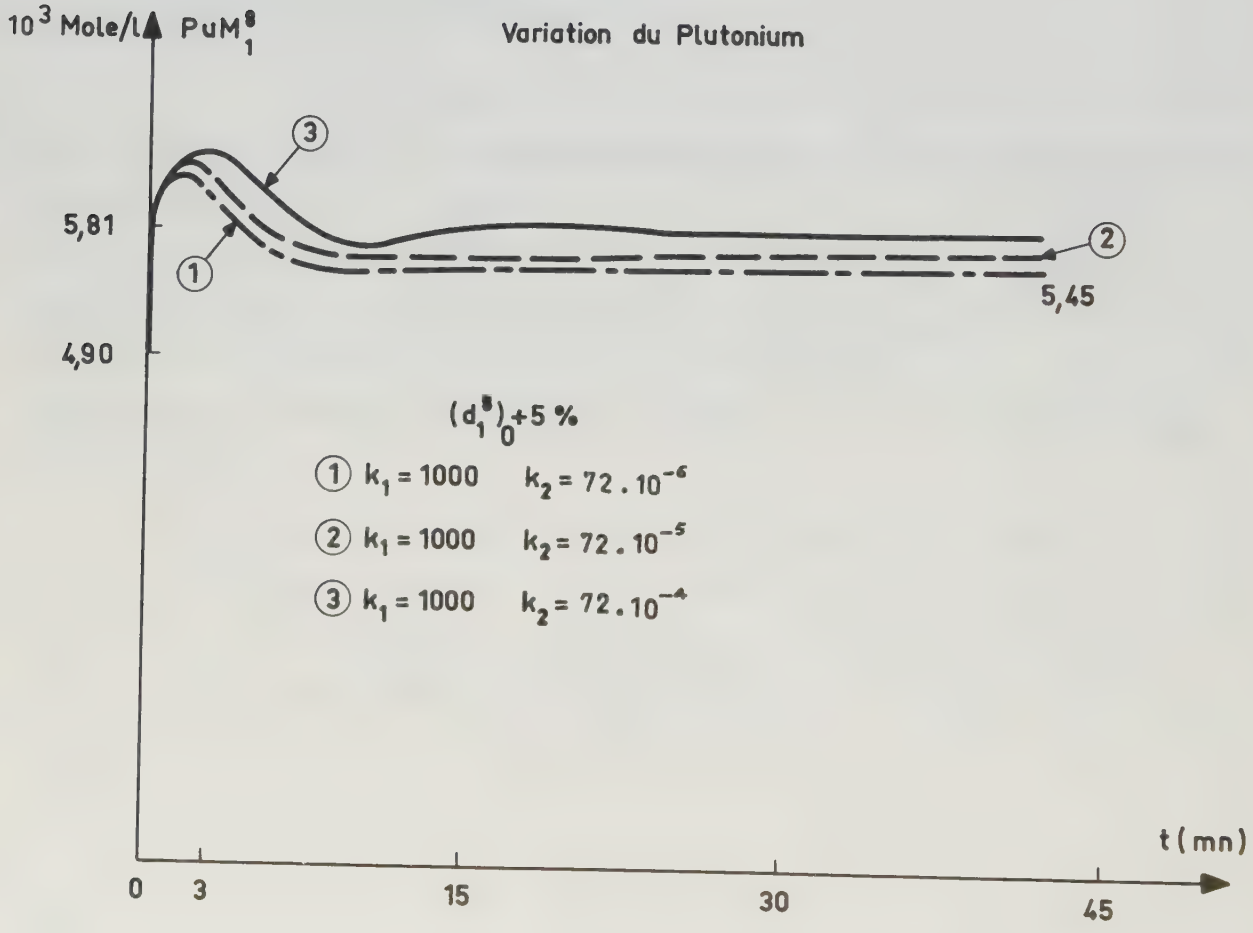

10^3 Mole/l
PuM_1^s
Variation du Plutonium
5,81
4,90
5,45
$(d_1^s)_0$ +5 %
① $k_1 = 1000$ $k_2 = 72 . 10^{-6}$
② $k_1 = 1000$ $k_2 = 72 . 10^{-5}$
③ $k_1 = 1000$ $k_2 = 72 . 10^{-4}$
t (mn)
0
3
15
30
45

FIG. 12

2. Perturbations de charge.

Nous effectuons d'abord des variations sous forme d'échelon de 10 % sur la concentration de l'acide en phase aqueuse (A_{10}), la valeur de consigne demeurant constante. Si nous branchons uniquement l'action proportionnelle, nous constatons un retour assez rapide à l'équilibre pour des valeurs de k_1 de l'ordre de 500 à 1 000. Si nous augmentons ces valeurs (par exemple $k_1 = 4\ 000$), il apparaît des oscillations.

Lorsque nous superposons l'action intégrale à l'action proportionnelle, les résultats sont sensiblement les mêmes que ceux obtenus avec l'action proportionnelle seule, sauf si le coefficient k_2 est trop élevé. Dans ce dernier cas, nous notons l'existence d'oscillations instables dont la période est de l'ordre de huit minutes (figure 13).

Les résultats sont du même type si nous effectuons, à la place des essais précédents, des variations de charge sur la concentration de l'uranium en phase aqueuse (U_{10}).

VI.4.B. Etude des 14 étages.

Dans l'hypothèse où tous les étages sont connectés, nous considérerons particulièrement les phénomènes à l'étage 8 où, comme nous l'avons vu plus haut, les variations sont les plus fortes. Pour cet étage nous suivrons de façon continue l'évolution de toutes les variables correspondantes sur des enregistreurs analogiques tandis que pour les 9 derniers étages nous relèverons seulement, à période fixe, les différentes concentrations fournies par imprimante rapide sous forme de table.

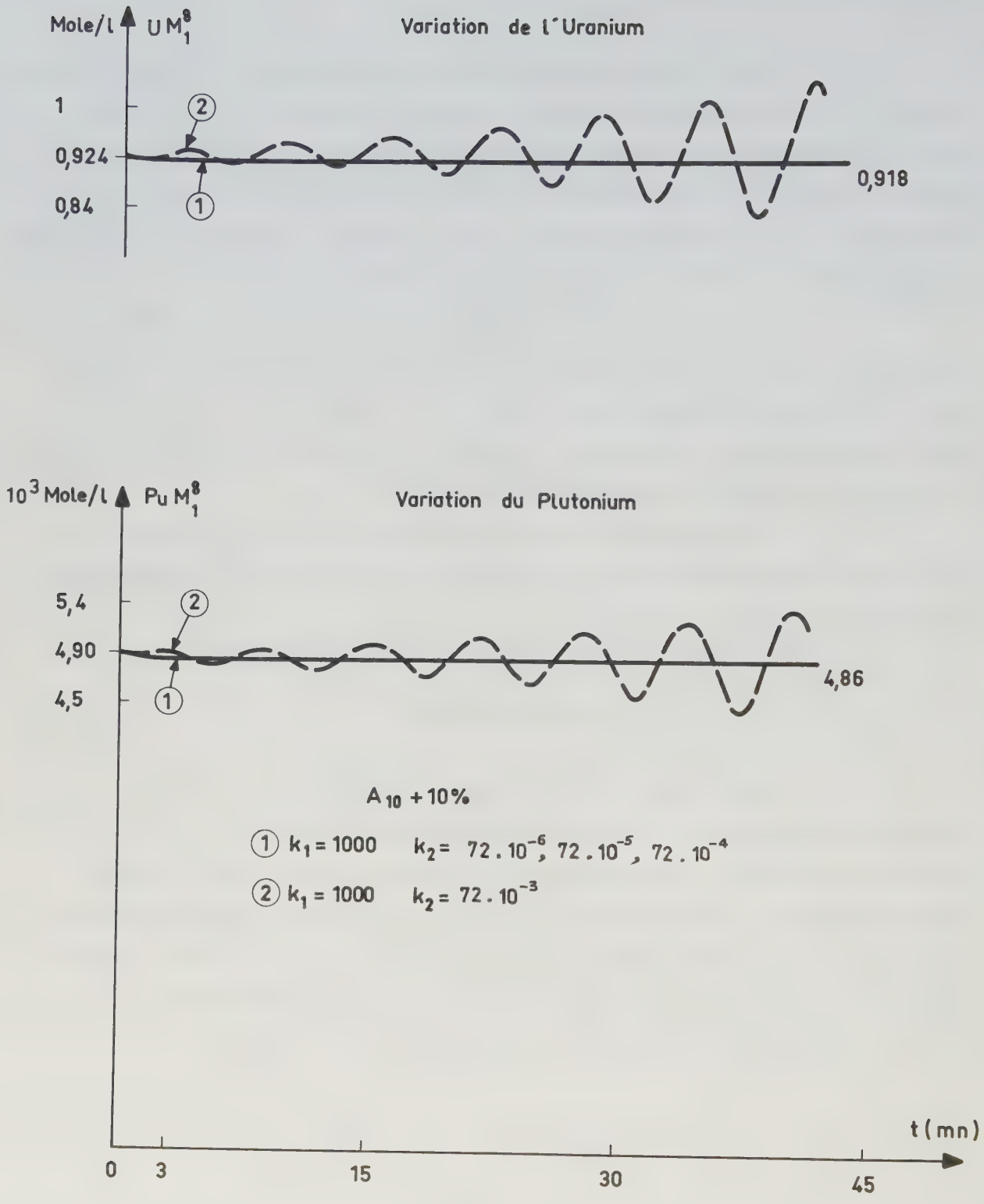

Mole/l
U M$_1^8$
Variation de l'Uranium
1
0,924
0,84
0,918
2
1
10^3 Mole/l
Pu M$_1^8$
Variation du Plutonium
5,4
4,90
4,5
4,86
A_{10} + 10%
① k_1 = 1000 k_2 = 72 . 10^{-6}; 72 . 10^{-5}, 72 . 10^{-4}
② k_1 = 1000 k_2 = 72 . 10^{-3}
t (mn)
0
3
15
30
45

FIG. 13

1. Détermination des coefficients k_1, k_2, k_3

Pour déterminer dans le cas d'une batterie complète, les valeurs optimales des coefficients k_1, k_2, k_3, nous effectuons un certain nombre d'essais où les perturbations, introduites sous forme d'échelon, sont soit des variations de densité de consigne, soit des variations de charge en uranium et en acide. Nous constatons une similitude entre les résultats observés ici et ceux obtenus dans le cas d'un seul étage, aussi n'est-il pas nécessaire de présenter de nouvelles figures.

Il apparaît que les valeurs optimales qui conduisent à une bonne régulation sont :

k_1 = 1 000 l/h par unité de variation de densité

k_2 = 0,0072 s^{-1}

Les essais montrent que le coefficient k_3 (choisi entre 15 et 45 s) n'a aucune influence, aussi abandonnons-nous l'action dérivée qui se révèle négligeable.

2. Perturbations de débits (D_1, D'_{10}, D_2)

Les perturbations sont du type échelon et correspondent à des variations de $\pm$ 2 % sur les débits D_1 et D_2 et $\pm$ 7 % sur le débit D'_{10}. Ces perturbations sont appliquées séparément. Nous constatons que la régulation ne ramène pas tout à fait les concentrations en acide, uranium et plutonium à leur valeur initiale, le nouvel équilibre étant atteint au bout d'un temps de l'ordre de 5 à 10 minutes.

Dans le cas où les mêmes perturbations sont appliquées, mais où nous supposons qu'il existe un bruit de fond affectant la valeur de

consigne $(d_1^8)_0$, nous obtenons les mêmes résultats que ci-dessus (le bruit de fond est obtenu, sur calculateur, par un générateur analogique de bruit blanc, dans une bande allant du courant continu à 30 hertz).

3. Perturbations sur les charges A_{10}, U_{10} et PU_{10}.

Nous laissons constante la valeur de consigne $(d_1^8)_0$ et nous introduisons des perturbations en dents de scie (voir chapitre V pour la partie analogique) avec des périodes de 1 h, 2 h et 3 h. L'amplitude maximale des dents de scie est, exprimée en valeur relative, $\pm$ 2,5 % pour les trois corps.

Il résulte du fait de ces perturbations, que les valeurs moyennes des concentrations en uranium et en plutonium sont plus faibles, en particulier dans l'étage 8, lorsque la régulation fonctionne. L'intérêt de la régulation apparait ici parce qu'elle supprime les risques d'accumulation en plutonium. Nous trouvons sur les figures n° 14 à n° 17 les résultats obtenus pour différentes périodes avec ou sans régulation.

VI. 5. Conclusion.

Les résultats précédents montrent qu'une régulation du type proportionnelle et intégrale présente un intérêt évident puisqu'il est possible de stabiliser au mieux le fonctionnement de l'usine d'extraction qu'est la batterie.

En régulant les variations de concentration d'uranium par l'intermédiaire du débit du solvant à partir de la mesure de la densité de la phase aqueuse, on asservit les concentrations de plutonium dans les différents pots à des niveaux constants prédéterminés.

Il apparait alors un accroissement de sécurité, car l'accumulation du plutonium dans les pots risquerait d'entrainer des réactions

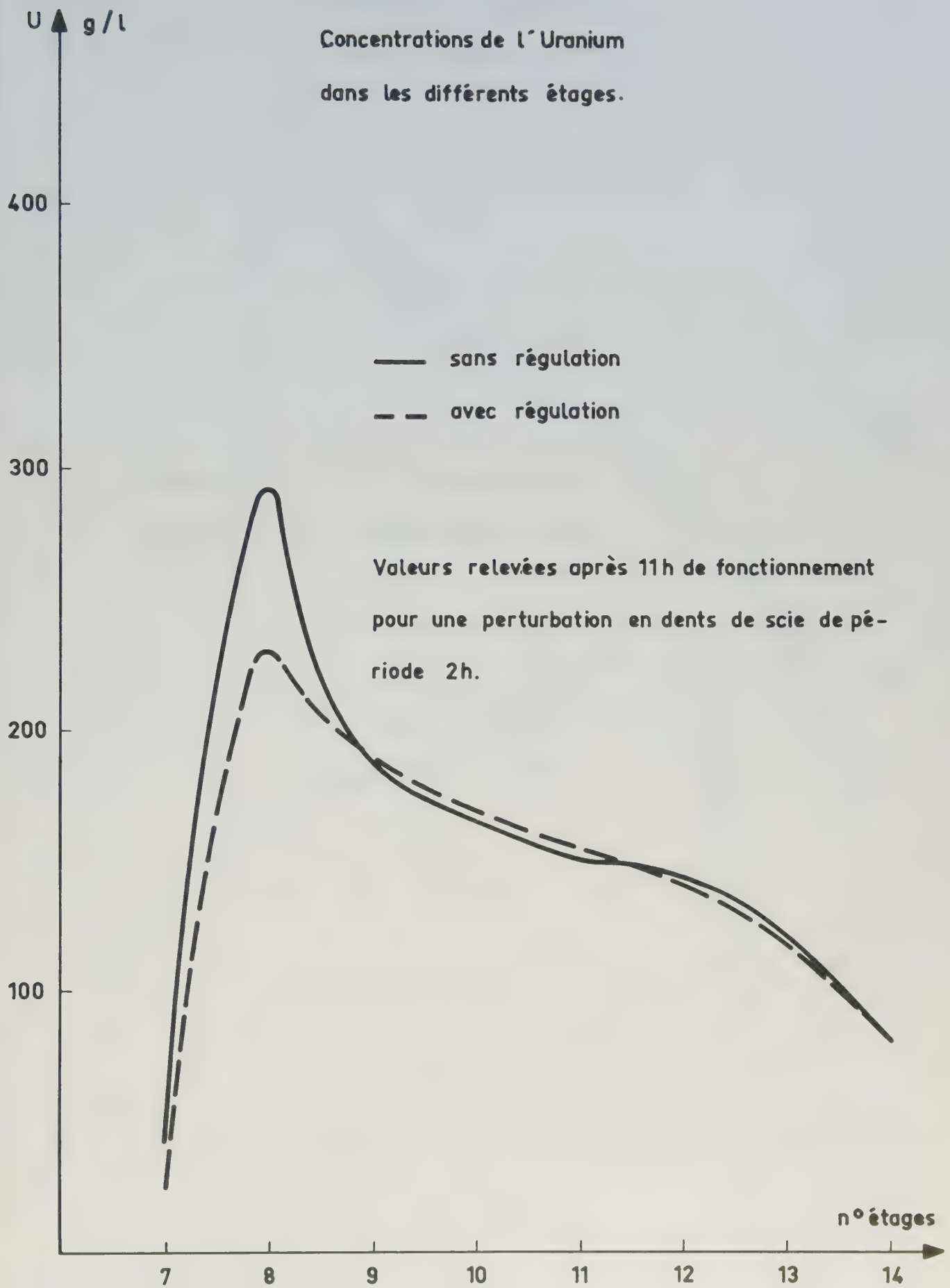

U g/l
Concentrations de l'Uranium
dans les différents étages.
400
300
200
100
sans régulation
avec régulation
Valeurs relevées après 11h de fonctionnement
pour une perturbation en dents de scie de pé-
riode 2h.
n° étages
7
8
9
10
11
12
13
14

FIG. 14

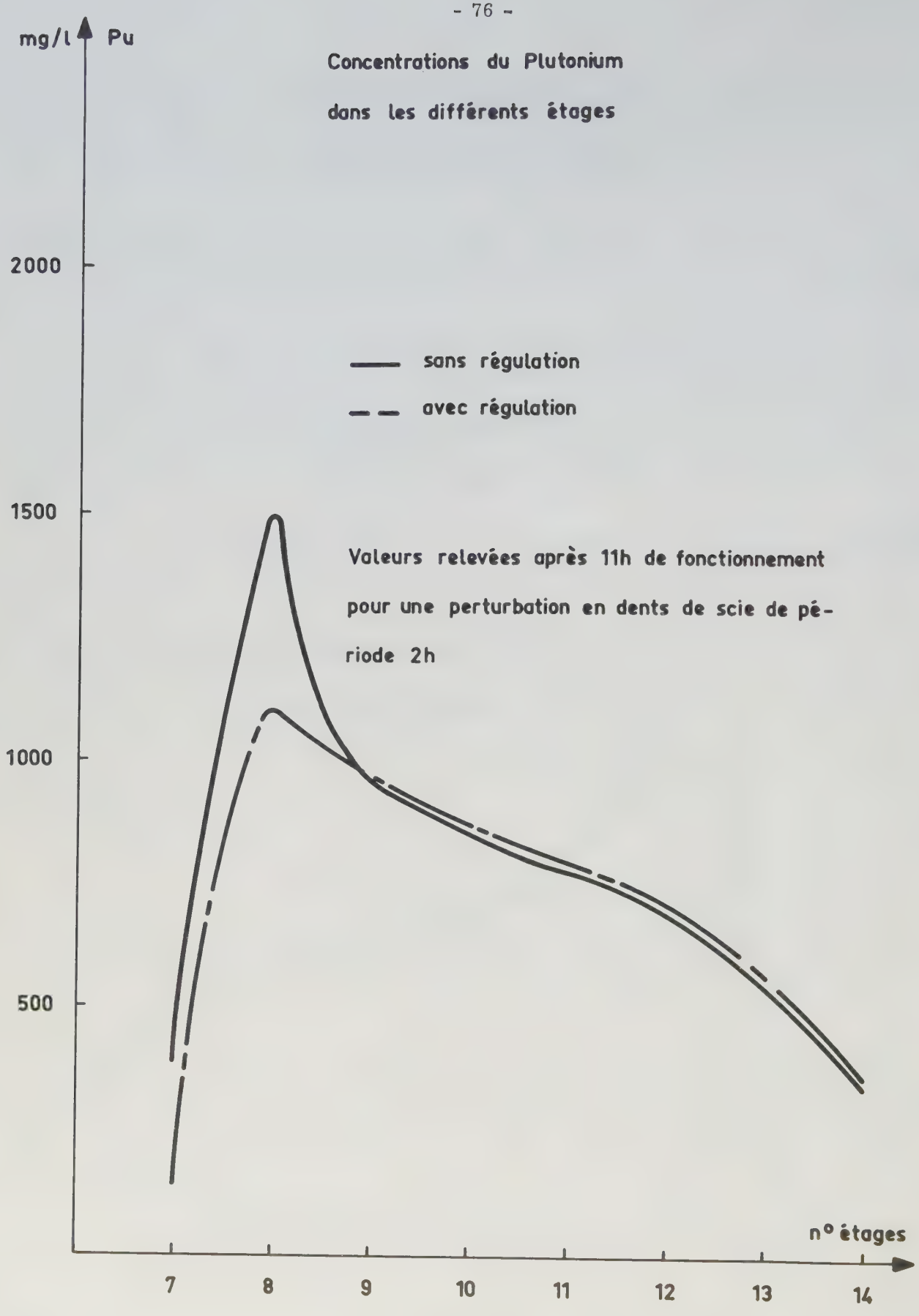

mg/l Pu
Concentrations du Plutonium
dans les différents étages
2000
1500
1000
500
sans régulation
avec régulation
Valeurs relevées après 11h de fonctionnement
pour une perturbation en dents de scie de pé-
riode 2h
n° étages
7
8
9
10
11
12
13
14

FIG. 15

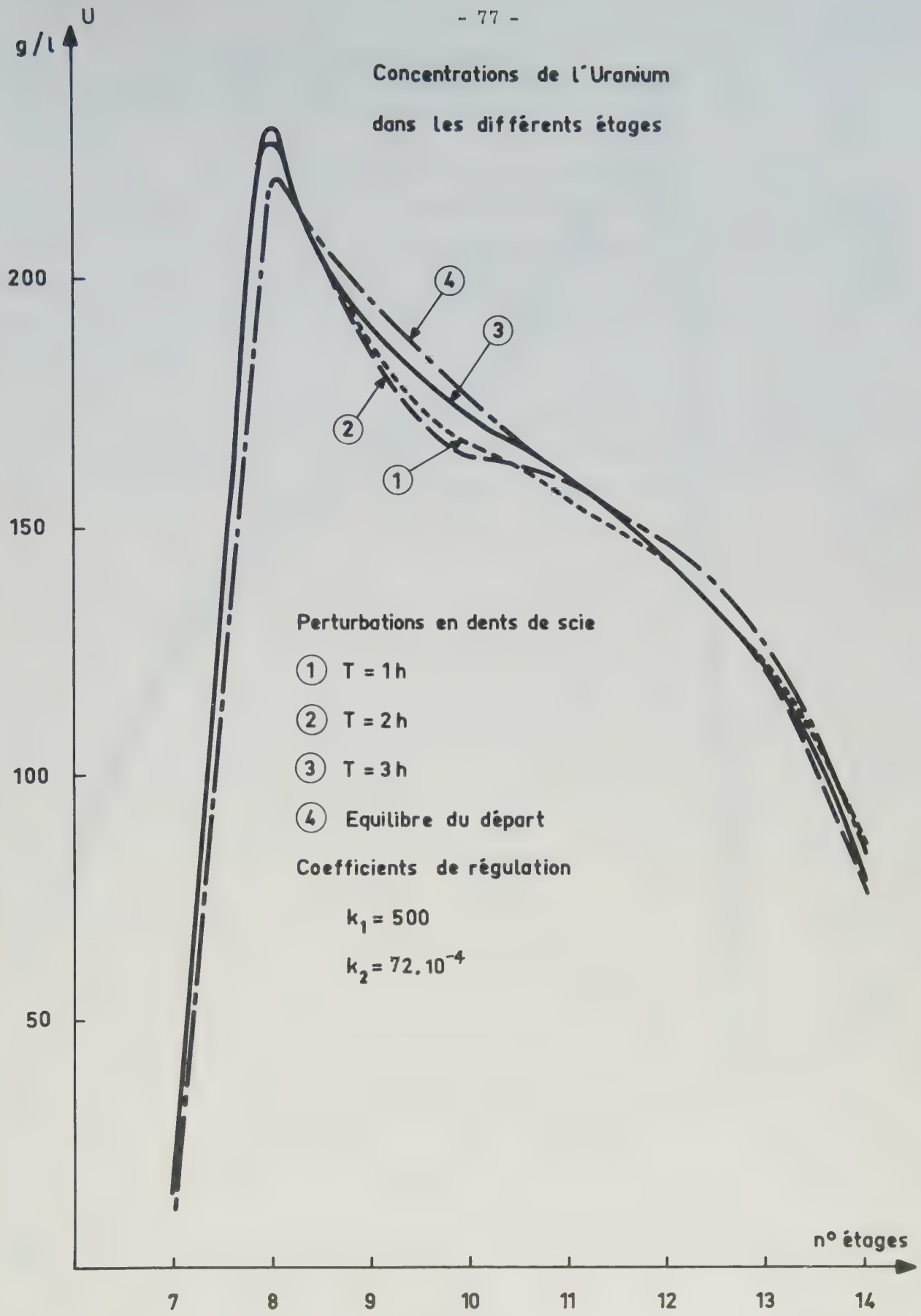

U
g/l
Concentrations de l'Uranium
dans les différents étages
200
150
100
50
4
3
2
1
Perturbations en dents de scie
① T = 1 h
② T = 2 h
③ T = 3 h
④ Equilibre du départ
Coefficients de régulation
$k_1 = 500$
$k_2 = 72.10^{-4}$
n° étages
7
8
9
10
11
12
13
14

FIG. 16

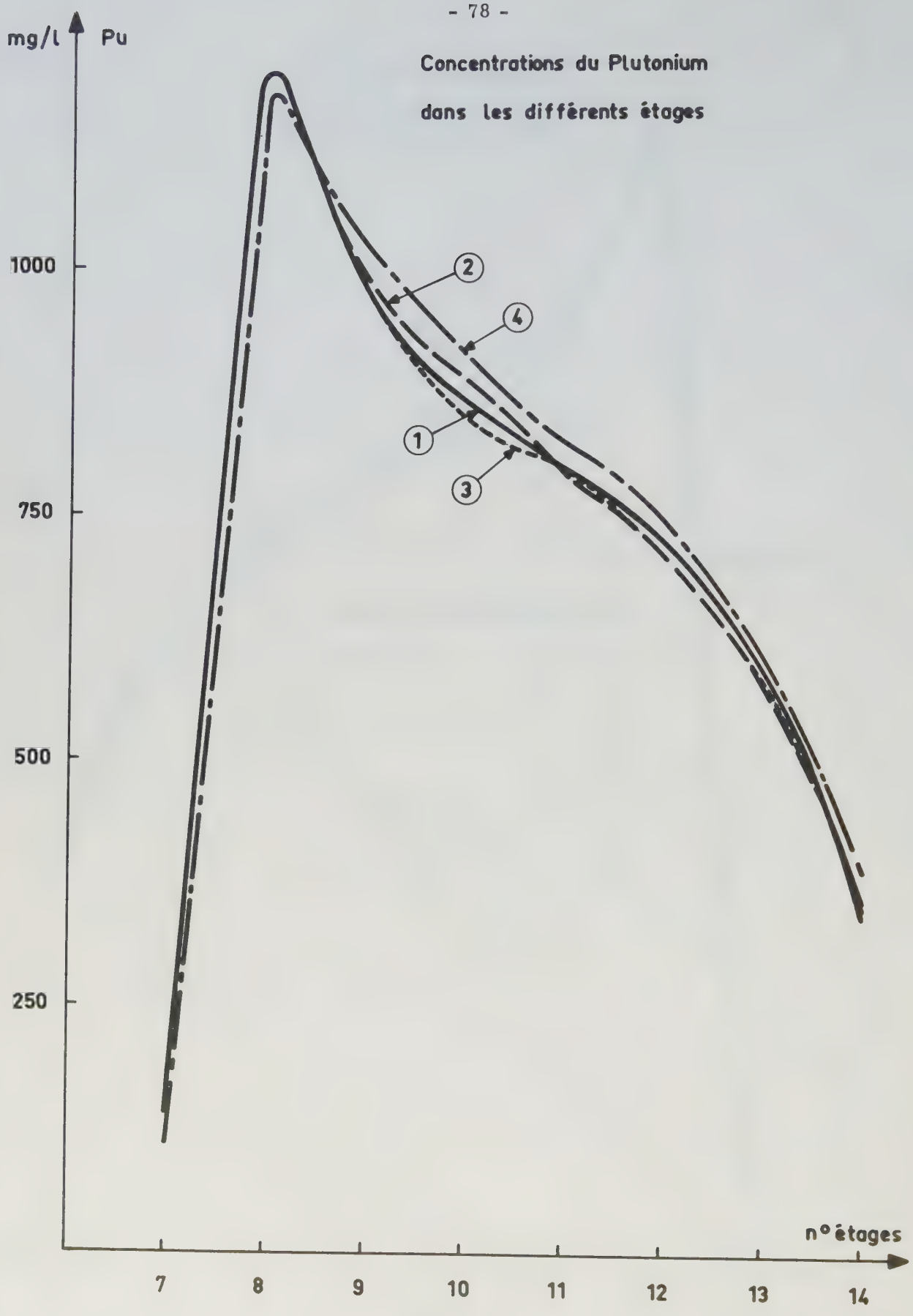

mg/l Pu
Concentrations du Plutonium
dans les différents étages
1000
750
500
250
1
2
3
4
n° étages
7
8
9
10
11
12
13
14

FIG. 17

neutroniques en chaîne d'une extrême gravité si certains seuils étaient dépassés.

Il est donc d'intérêt que non seulement ces seuils ne soient pas atteints mais que la concentration en plutonium soit la plus faible possible. On trouvera au chapitre suivant une étude d'optimisation statique où sont recherchées puis définies, pour la section de lavage c'est-à-dire pour les étages 8 à 14, les meilleurs valeurs des débits du solvant et de phase aqueuse.

Les résultats obtenus sont suffisamment encourageants pour que les responsables des batteries de Marcoule prévoient d'incorporer prochainement un dispositif de régulation sur celles-ci.

VII. OPTIMALISATION.

Les études détaillées dans les chapitres précédents ont permis de montrer quel était le comportement dynamique d'une batterie d'extraction d'uranium et plutonium et quel était l'intérêt d'introduire une régulation.

Dans ce chapitre, nous nous intéressons essentiellement à trouver les meilleurs régimes permanents de fonctionnement d'une telle batterie en utilisant les programmes hybrides mis au point pour les études dynamiques. Le problème consiste à rechercher les valeurs optimales des débits D'_1 et D_2 qui permettent d'obtenir une accumulation minimale de plutonium correspondant au maximum de saturation du solvant. Dans ce but, il est nécessaire de définir un critère mathématique qui soit une expression explicite en fonction d'un certain nombre de variables indépendantes.

VII.1. Enoncé du problème.

Le problème peut être posé de la façon suivante : rechercher le couple (D'_1, D_2) tel que, dans le pot 8, la concentration de l'uranium soit la plus proche possible de Uo avec la contrainte que la concentration du plutonium ne dépasse pas Pu_o. Cet énoncé peut s'exprimer au moyen de deux affirmations :

$$\begin{cases} (U^8_1 - U_o)^2 \text{ minimal} \\ \\ Pu^8_1 \leqslant Pu_o \end{cases}$$

U_o et Pu_o sont des concentrations données ayant pour valeurs ici 250 g et 4 g.

Rappelons que la contrainte Pu_o imposée pour le plutonium exprime que le comportement neutronique de la batterie doit avoir lieu dans des conditions qui la tiennent hors des risques d'amorçage d'une réaction en chaîne.

VII.2. Plans des variables d'entrée et de sortie du processus.

Les variables d'entrées du processus (appelées "commandes" suivant la terminologie moderne, commandes sur lesquelles nous nous proposons d'agir) sont le débit de lavage de la phase aqueuse D'_1 et le débit organique D_2.

Les sorties sont :

$U = U^8_1 (D'_1, D_2)$

$Pu = Pu^8_1 (D'_1, D_2)$

Dans la suite, nous noterons :

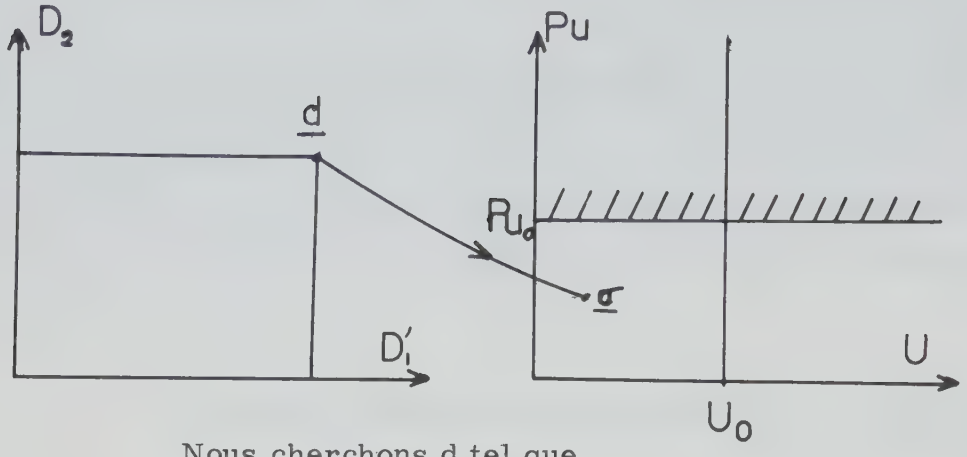
$\underline{d} = (D'_1, D_2)$

et parfois $\underline{\sigma} = (U, Pu)$

En notations vectorielles, la batterie d'extraction, représenté par son simulateur hybride, réalise la transformation :

$$\underline{d} \xrightarrow{\tau} \underline{\sigma} \qquad (\underline{d}, \underline{\sigma} \in \mathbb{R}^2)$$

Cette transformation se trouve visualisée sur le schéma ci-dessous :



Nous cherchons $\underline{d}$ tel que

$(U - U_o)^2$ minimal

$Pu \leqslant Pu_o$

Si nous admettons (ce qui est évident dans le cas du problème réel) que τ est univoque (c'est-à-dire que la donnée de $\underline{d}$ définit une valeur unique de $\underline{\sigma}$), alors les transformées inverses des droites $U = U_o$ et $Pu = Pu_o$ ne sauraient être réduites à un point.

Si de plus τ est continue

$$\tau^{-1}[Pu = Pu_o] \text{ et } \tau^{-1}[U = U_o]$$

sont des courbes connexes de $\mathbb{R}^2$, $\underline{d} \in \mathbb{R}^2$ (courbes continues).

VII.3. Différentes approches possibles.

L'étude de ce problème peut s'entreprendre de différentes manières suivant les théories mathématiques appliquées.

VII.3.1. Méthode du gradient.

Cette méthode dite "méthode de la plus grande pente" est l'une des plus classiques des méthodes d'optimalisation statique multivariable. Rappelons-en d'abord les grandes lignes : Soit $S(x_1, x_2, \ldots, x_n)$ le critère $x_1 \ldots x_n$ étant les paramètres par rapport auxquels nous nous proposons de le minimiser.

Il vient :

$$\frac{dS}{dt} = \sum_1^n \frac{\partial S}{\partial x_i} \frac{dx_i}{dt}$$

ou encore, avec des notations vectorielles :

$$\frac{dS}{dt} = < \text{grad } S, \frac{dX}{dt} >$$

en posant : $$\text{grad } S = \frac{\partial S}{\partial x_1} \ldots \frac{\partial S}{\partial x_n}$$

$$X = x_1, x_2 \ldots x_n$$

$$\frac{dX}{dt} = \left(\frac{dx_i}{dt}, \ldots \frac{dx_n}{dt} \right)$$

Nous désirons que la fonction S décroisse le plus rapidement possible au cours du temps ; il en résulte que sa dérivée par rapport au

temps doit être négative et aussi grande que possible en valeur absolue. Il en résulte encore, d'après la relation précédente, que $\frac{dX}{dt}$ doit être colinéaire et de sens opposé au gradient de S, c'est-à-dire que nous devons avoir :

$$\frac{dX}{dt} = - K \text{ grad } S$$

(expression dans laquelle K est un gain positif, non nécessairement constant).

Dans le cas où il existe une contrainte la méthode ci-dessus ne s'applique pas directement car les variables de sorties pourraient se trouver hors du domaine utilisé. Pour éviter ce dépassement de frontière, il faut alors ajouter à l'équation une composante adéquate de vitesse.

Appliquant ce principe aux régimes statiques de la batterie d'extraction, nous posons :

$$S\ (D'_1,\ D_2) = (U_1^{\ 8} - U_o)^2$$

$$g\ (D'_1,\ D_2) = (Pu - Pu_o)$$

et nous cherchons les valeurs des couples $D'_1\ D_2$ telles que :

$$\left|\begin{array}{l} S \text{ soit minimum} \\ \text{et } g \leqslant 0 \end{array}\right.$$

Soit $\underline{\delta d} = (\delta D'_1,\ \delta D_2)$ un déplacement compatible avec les contraintes.

Si $S\ (\underline{d}^*)$ est le minimum, nous pouvons écrire :

$$S\ (\underline{d}^* + \underline{\delta d}) \geqslant S\ (\underline{d}^*)$$

$$g\ (\underline{d}^* + \underline{\delta d}) \leqslant 0$$

Si $\underline{\delta d}$ est suffisamment petit, nous avons :

$$S(\underline{d}^*) + \langle \underline{\nabla S}, \underline{\delta d} \rangle \geq S(d^*)$$

Donc : $$\langle \underline{\nabla S}, \underline{\delta d} \geq 0$$

et dans ce cas cette dernière relation n'entraîne pas :

$$\langle \underline{\nabla S}, \underline{\delta d} \rangle = 0$$

On voit donc que la méthode du gradient avec contrainte nécessite le calcul des dérivées premières. Ce calcul ne peut être effectué que par une approximation aux différences finies qui entraîne la simulation de plusieurs régimes transitoires de batterie et par suite exige un temps d'utilisation machine non négligeable. Nous l'avons néanmoins utilisé au cours d'une première approche, mais l'avons rapidement abandonnée par suite de la très lente convergence du critère.

VII.3.2. Méthodes ne faisant pas appel au calcul des dérivées premières.

C'est pourquoi nous nous sommes orientés vers des méthodes qui ne nécessitent pas le calcul des dérivées premières.

Deux méthodes semblaient a priori intéressantes, celle de la recherche aléatoire et celle du simplexe.

Nous allons analyser ces deux méthodes pour déterminer la plus appropriée à une simulation hybride.

VII.3.2.a. Méthode de recherche aléatoire.

Le principe en est extrêmement simple.

Des essais aléatoires successifs sont effectués sur dx_i et la meilleure

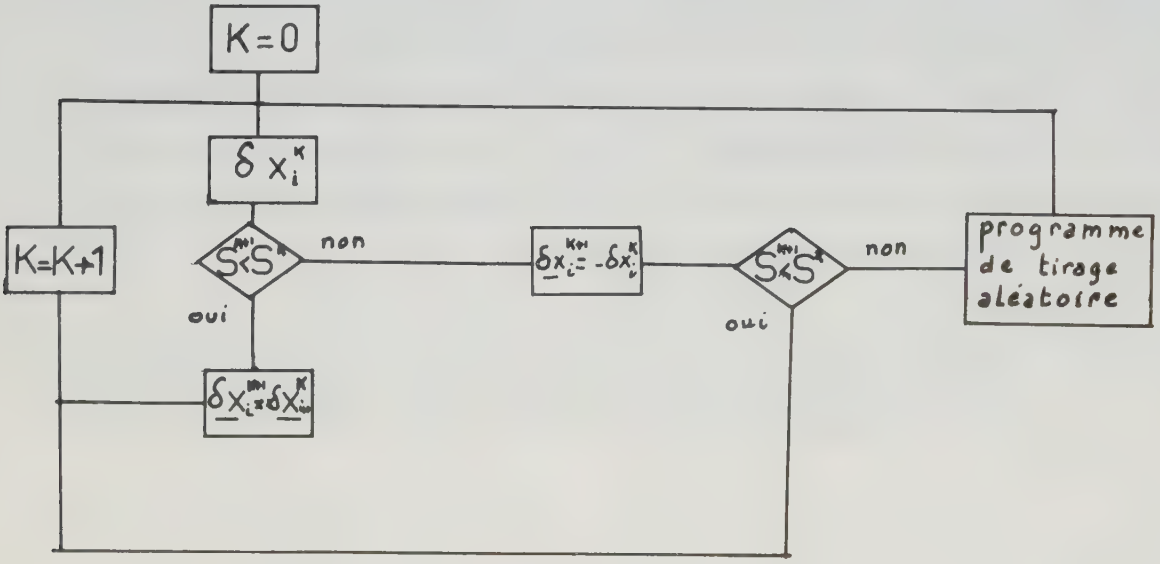
valeur est seule conservée. Il est possible d'accélérer la convergence en opérant de la façon suivante :

Si un essai est un succès (c'est-à-dire si S a diminué) nous recommençons un essai avec la même variation $\underline{\delta}\, x_i$ autour du nouveau point obtenu.

Si un essai est un échec, nous revenons à la position initiale, et nous effectuons la variations $- \underline{\delta}\, x_i$.

Si ces deux cas conduisent à des échecs, nous effectuons une nouvelle variation aléatoire.

Ce formalisme logique peut être représenté par l'organigramme suivant :



VII.3.2.b. Méthode du simplexe.

Son principe consiste à rechercher le lieu des points tels que :

$$U_1^{\,8} = 250 \text{ g}$$

et celui des points tels que :

$$Pu_1^8 = 4 \text{ g.}$$

Prenons dans ce but, dans l'espace des paramètres D'_1 et D_2 un nombre de points égal à la dimension de l'espace* augmenté d'une unité. A partir de ces 3 points expérimentaux théoriquement quelconques mais qu'il vaut mieux choisir judicieusement (points expérimentaux auxquels correspondent les valeurs d'équilibre U^I, U^{II}, U^{III}) déterminons le barycentre associé aux masses $(U^I - 250)$, $(U^{II} - 250)$, $(U^{III} - 250)$. Il lui correspond une valeur d'équilibre U^{IV}.

Le moins bon des quatre points c'est-à-dire le point le plus éloigné du point U = 250 est alors éliminé et la procédure est ensuite répétée.

En quelques coups généralement, un point U = 250 est atteint avec la précision désirée.

Les deux premiers points sont choisis sur les axes D'_1 et D_2. Le troisième point est déterminé par les relations suivantes donnant les accroissements de débits.

$$(\delta D'_1)^{III} = \frac{250 - U^o}{U^I - U^o} * (\delta D'_1)^I$$

$$(\delta D_2)^{III} = \frac{250 - U^o}{U^{II} - U^o} * (\delta D_2)^{II}$$

U^o étant la concentration initiale de l'uranium dans le pot 8,

U^I la concentration finale de l'uranium dans le pot 8 pour un accroissement K_1 de D'_1

U^{II} la concentration finale de l'uranium dans le pot 8 pour un accroissement K_2 de D_2.

---

* Comme nous sommes dans le plan d le nombre des points est de trois

Le même procédé est appliqué pour le plutonium.

Traçons sur un graphique d'axes D'_1, D_2, le lieu des points Pu (D'_1, D_2) = 4 à partir duquel il sera possible de déduire les points optimaux de fonctionnement du système.

VII.3.2.c. Résultats.

La méthode du simplexe s'est avérée la meilleure parce que sa programmation est la plus rapide. C'est pourquoi nous l'avons appliquée à notre étude.

Les résultats montrent que, lorsque la concentration de l'uranium est voisine de 250 g, celle du plutonium atteint presque 6 g. Puisque la contrainte est de 4 g, il n'est pas possible de retenir cette valeur. Par contre si nous considérons le lieu des points où la concentration du plutonium est de l'ordre de 4 g, nous mettons en évidence une frontière qui détermine le domaine autorisé des valeurs des débits D'_1, D_2. Il est à remarquer que, pour la contrainte Pu_o = 4 g, la valeur de la concentration de l'uranium dans le pot 8 est environ de 178 g.

VII.4. Réalisation pratique de la recherche du régime optimal.

Au programme hybride décrivant le comportement dynamique de la batterie, nous avons associé un programme numérique réalisant l'algorithme de la méthode du simplexe. Ces deux programmes ont été groupés en un programme unique. Cette fusion a nécessité la création des sous-programmes complémentaires suivants :

- ISED, sous-programme destiné à la sauvegarde des index,
- PAUSE, sous-programme destiné à modifier, entre deux calculs successifs, par un retour à un programme de "debugging", l'affichage de potentiomètres,

et l'introduction d'un dialogue complémentaire par boutons poussoirs entre l'utilisateur et la machine, boutons permettant d'interrompre le programme SEDOR lorsque l'équilibre est atteint et de retourner ensuite au programme principal.

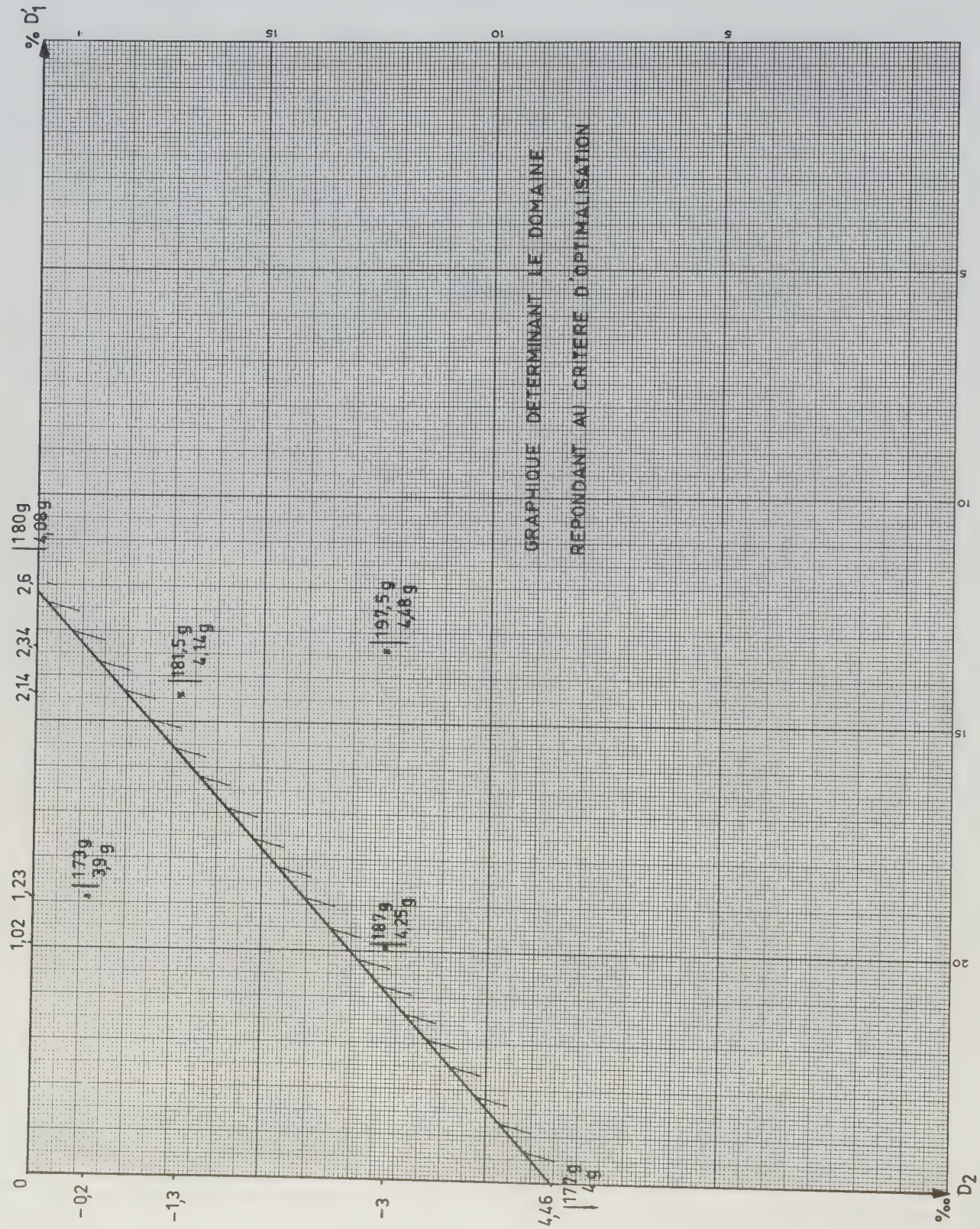
Un listing complet de l'ensemble des programmes est fourni en annexe.

VII.5. Conclusion.

Après une analyse des diverses théories d'optimalisation susceptibles d'être appliquées au processus, nous avons été amenés à choisir la méthode du simplexe.

Cette méthode, bien que simple dans son principe, a présenté quelques difficultés lors de sa mise en œuvre, difficultés dues à l'extrême sensibilité de la batterie et à des problèmes de précision sur le calculateur.

Nous avons pu déterminer une plage approximative fournissant un ensemble de valeurs répondant au critère d'optimalisation proposé. Par rapport au point de fonctionnement initialement choisi, cet ensemble est tel que les variations de D'_1 et de D_2 doivent respectivement être inférieures à 1 % et 5 °/₀₀ .


% D'1
‰ D2
GRAPHIQUE DETERMINANT LE DOMAINE
REPONDANT AU CRITERE D'OPTIMALISATION
1,02
1,23
2,14
2,34
2,6
180g
4,08g
173g
3,9g
181,5g
4,14g
197,5g
4,48g
187g
4,25g
177g
4g
0
-0,2
-1,3
-3
-4,46
5
10
15
20

VIII. CONCLUSION.

Les chapitres qui constituent cette thèse ont été écrits en respectant l'ordre chronologique des différents travaux que nous avons été amenés à entreprendre relatifs à l'étude par simulation des propriétés dynamiques d'une batterie d'extraction d'uranium et de plutonium.

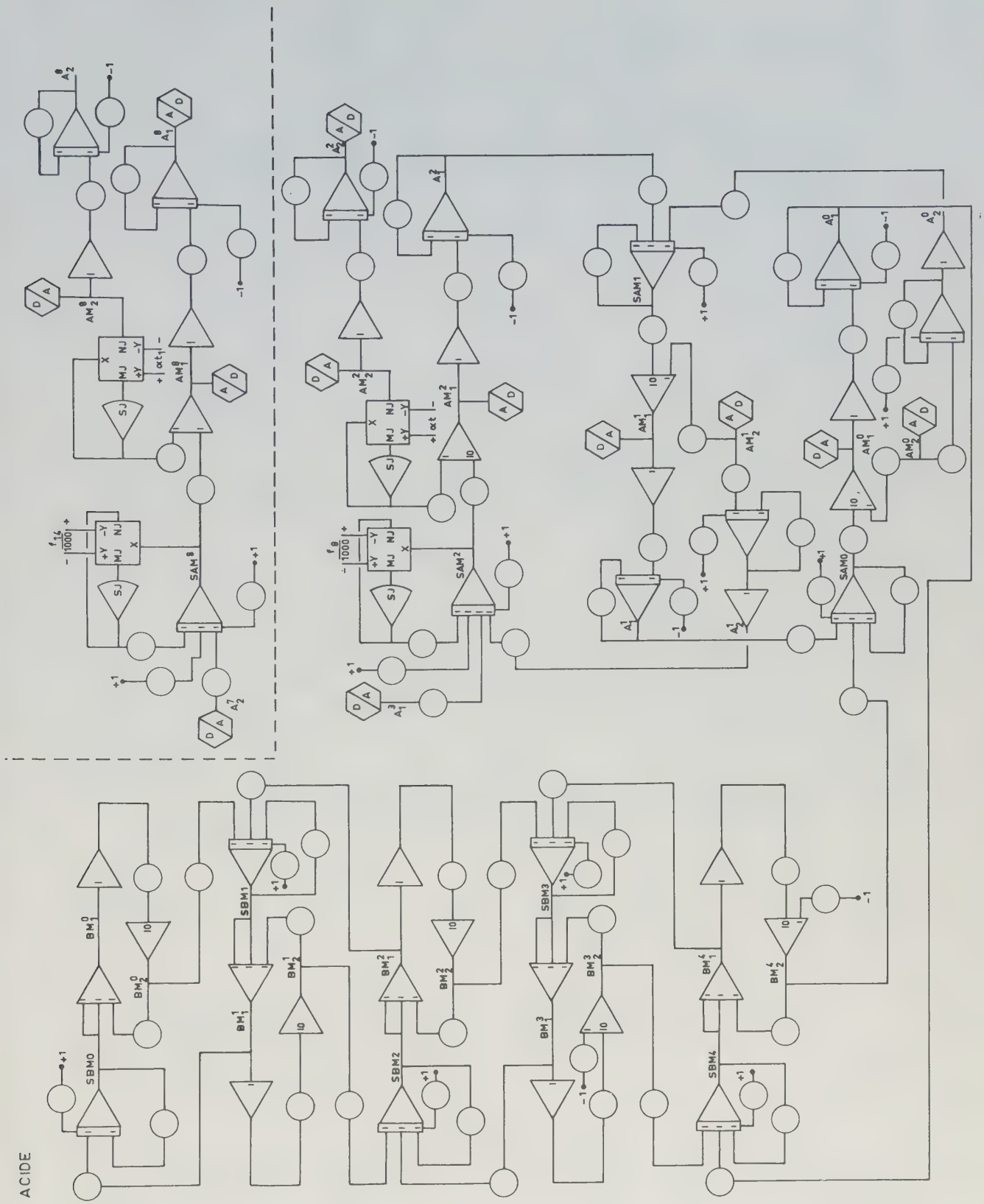
Au cours de ce cheminement qui nous a conduit à réaliser de longs et importants programmes pour calculateur hybride, trois étapes ont été franchies. La première étape a mis en lumière les influences diverses des variables d'entrée de la batterie lorsque cette dernière est soumise à différents types de perturbations. La seconde, s'appuyant sur les résultats précédents, a permis de proposer et définir une régulation capable de réduire fortement les inconvénients introduits par des perturbations extérieures indésirables, en particulier quand celles-ci sont du type périodique (rappelons que dans ce cas un accroissement dangereux de la rétention prend naissance lorsqu'il n'y a pas de régulation). La troisième étape, totalement consacrée à des études d'optimalisation statique, a montré qu'il était possible de déterminer le domaine des valeurs des débits organique et aqueux pour lequel la concentration en uranium est la plus élevée et la concentration en plutonium est inférieure à 4 grammes (seuil critique).

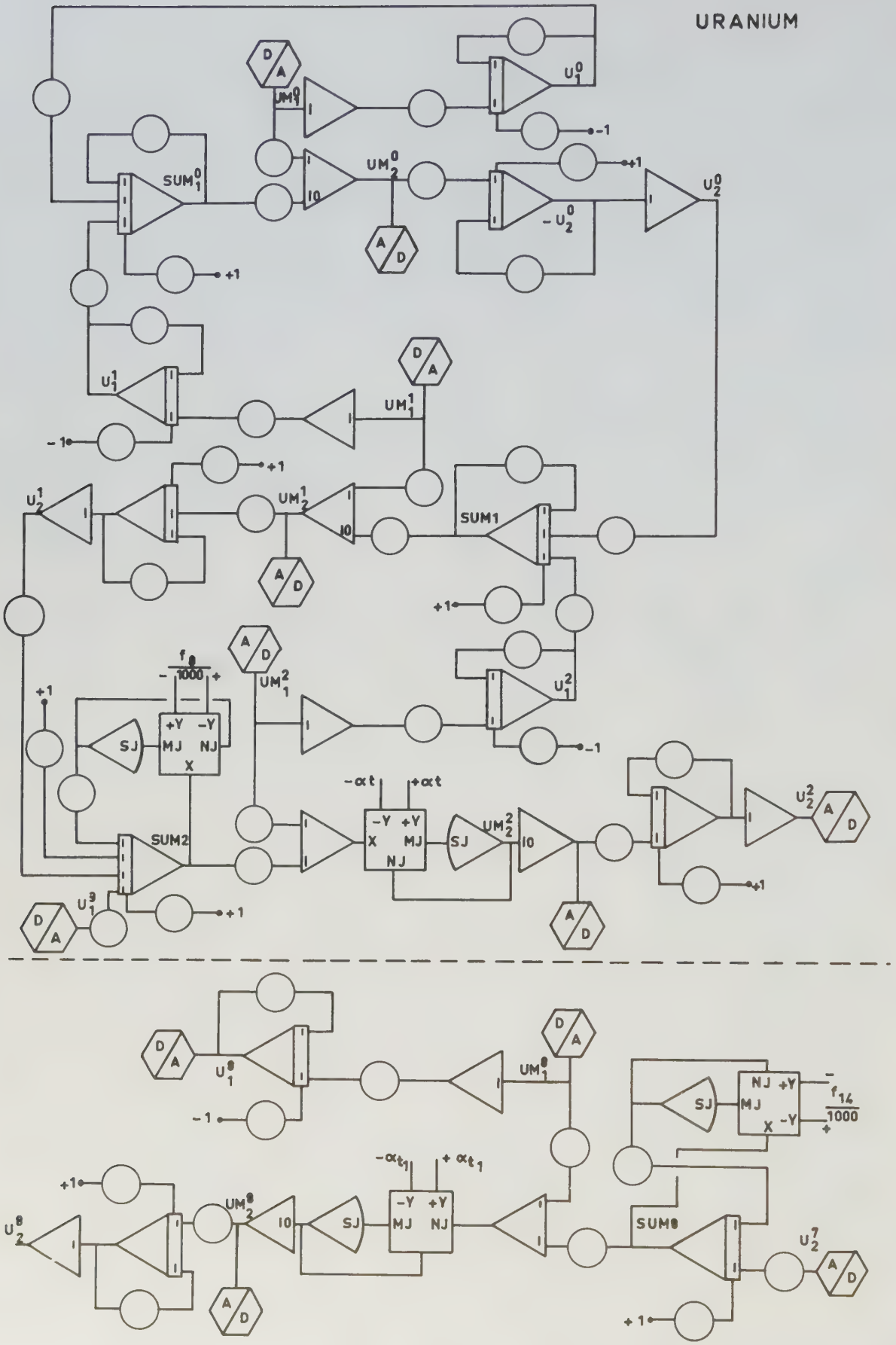
Les résultats théoriques obtenus par simulation ont permis de mieux comprendre le fonctionnement réel des batteries d'extraction, en particulier de celles situées à Marcoule.

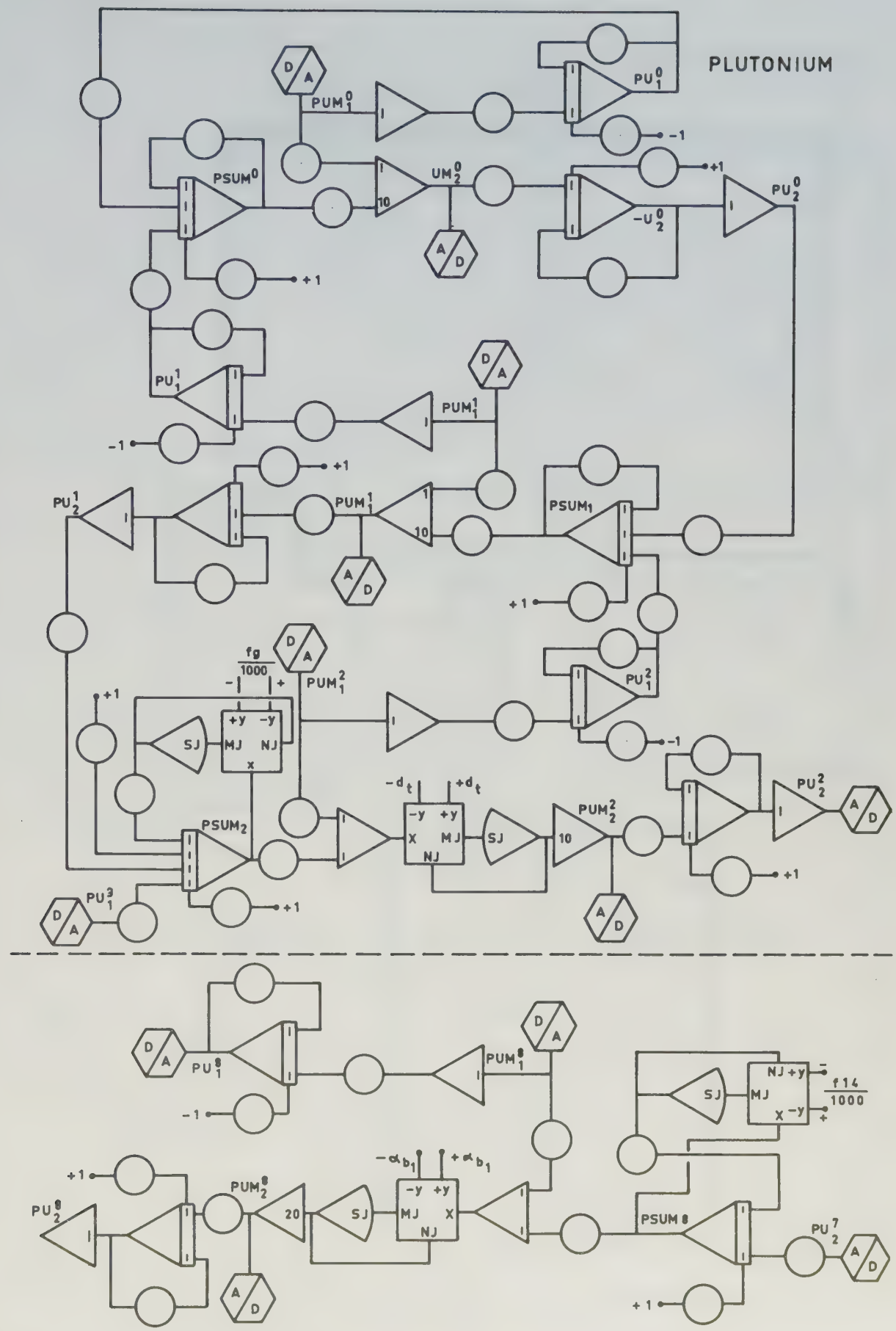
Il a été possible d'en prédire le comportement et de définir de nouvelles consignes qui ont amélioré le rendement des batteries. Une régulation basée sur les résultats acquis au chapitre VI doit être mise en œuvre prochainement. Enfin les études entreprises d'optimalisation vont permettre d'imposer les meilleurs débits de solvant et de phase aqueuse de lavage pour avoir le minimum d'accumulation de plutonium correspondant au maximum de saturation du solvant afin d'assurer une bonne décontamination.

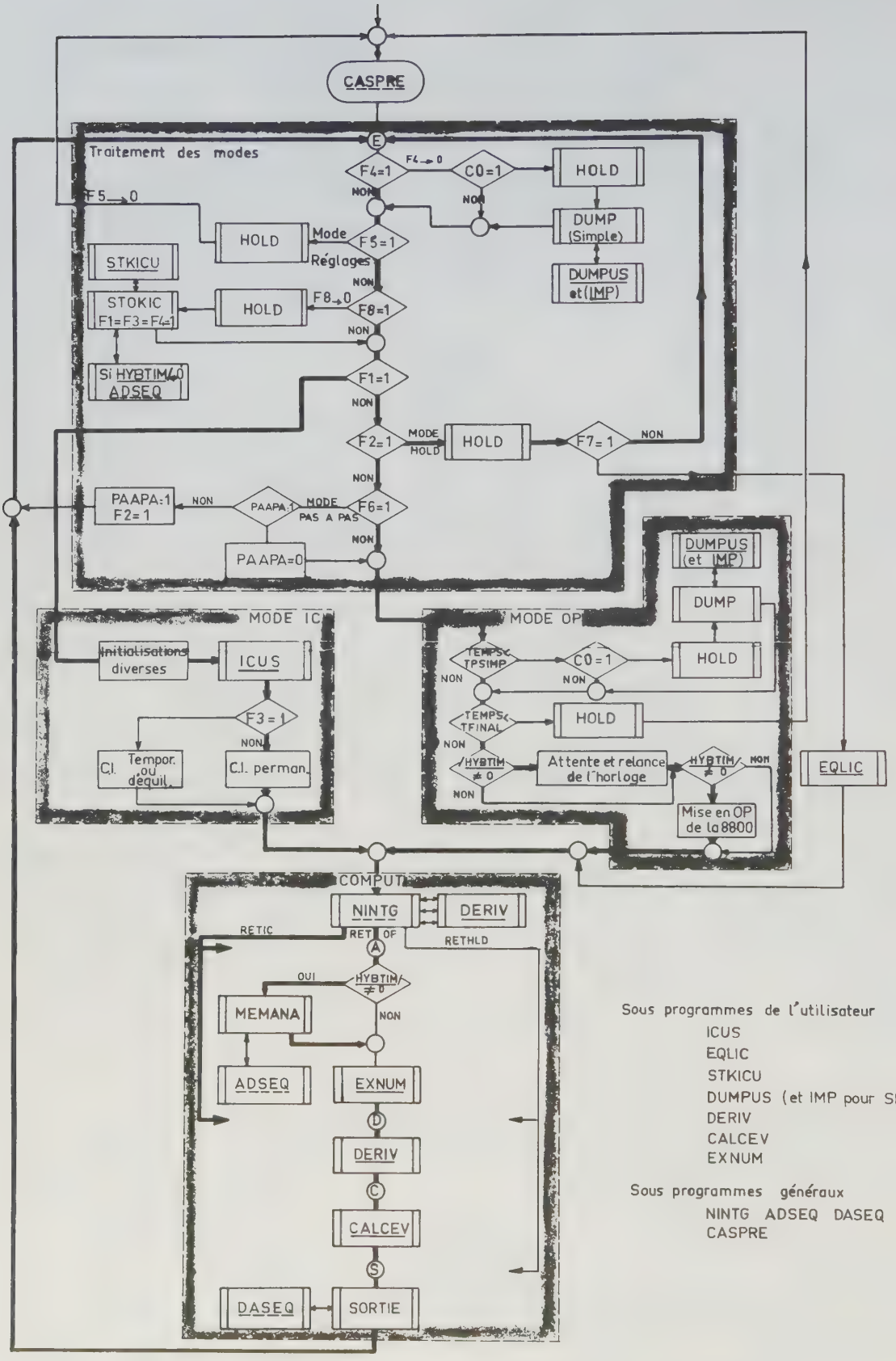
L'ensemble des résultats obtenus au cours de ce travail doit permettre d'entreprendre prochainement une étude complémentaire destinée à définir une commande automatique par calculateur numérique d'une batterie d'extraction.

Manuscrit reçu le 29 juillet 1971


ACIDE


URANIUM
D/A
A/D
SUM1
SUM2
SJ
MJ
NJ
+1
-1
10
X


PLUTONIUM
D/A
A/D
PUM$_1^0$
PU$_1^0$
PSUM^0
UM$_2^0$
PU$_2^0$
-U$_2^0$
+1
-1
10
PU$_1^1$
PUM$_1^1$
PU$_2^1$
PSUM$_1$
fg/1000
PUM$_1^2$
PU$_1^2$
PSUM$_2$
PU$_2^2$
PU$_1^3$
SJ
MJ
NJ
+y
-y
x
-d$_t$
+d$_t$
PUM$_2^2$
PU$_1^8$
PUM$_1^8$
PUM$_2^8$
PU$_2^8$
-α$_{b_1}$
+α$_{b_1}$
20
PSUM 8
PU$_2^7$
NJ +y
f 14/1000
÷



Sous programmes de l'utilisateur

ICUS
EQLIC
STKICU
DUMPUS (et IMP pour SEDOR1)
DERIV
CALCEV
EXNUM

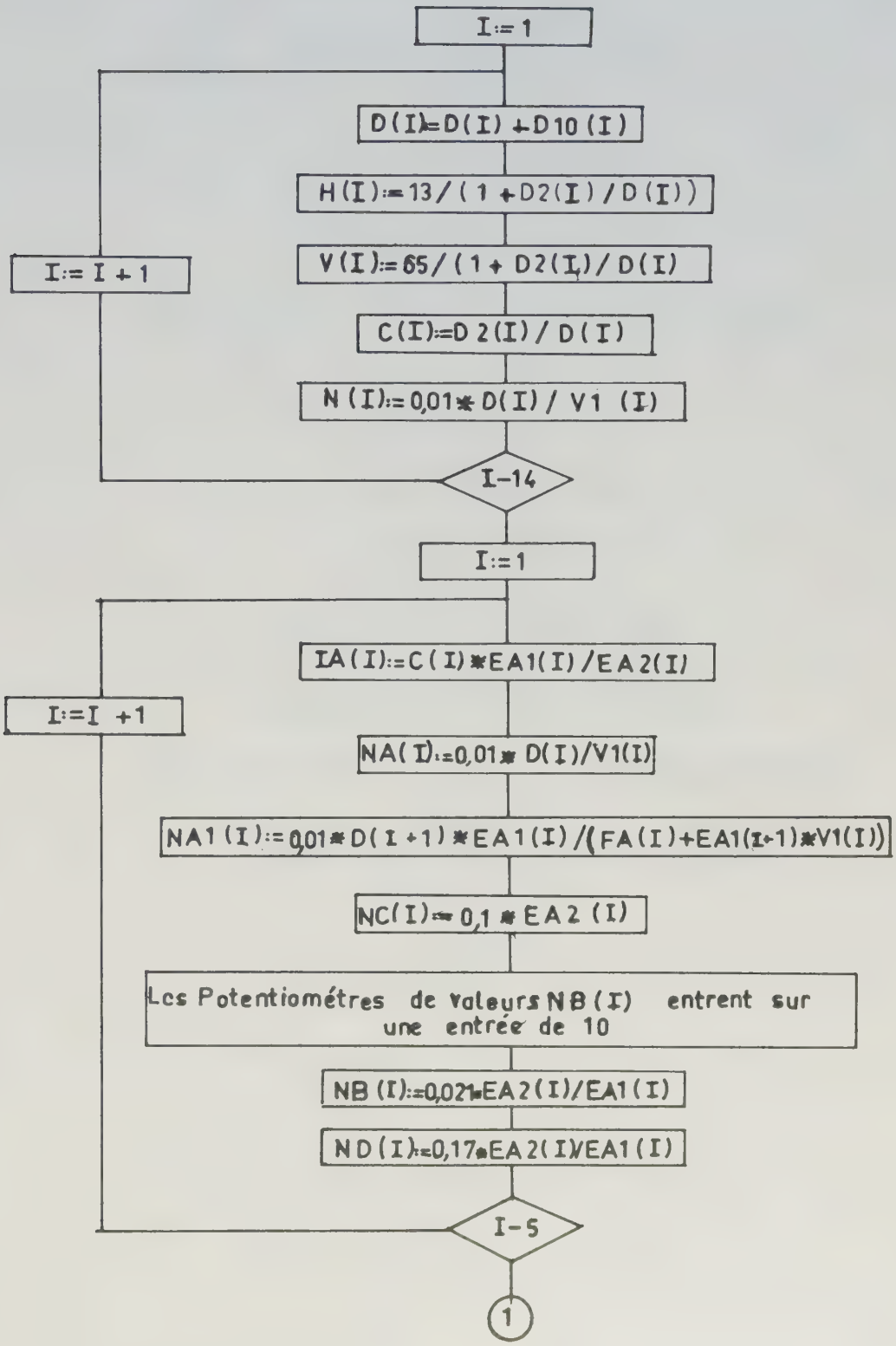
Sous programmes généraux

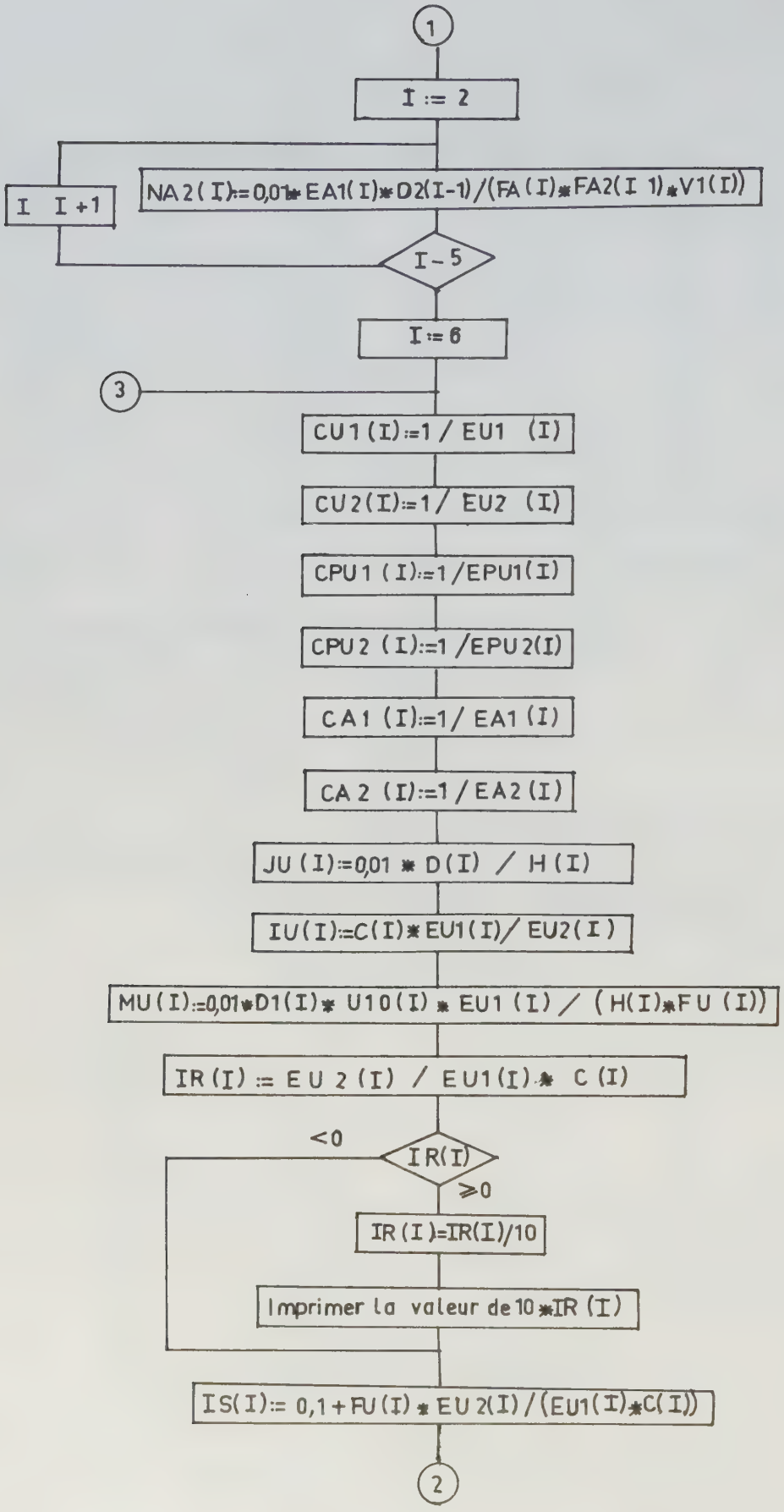
NINTG ADSEQ DASEQ
CASPRE

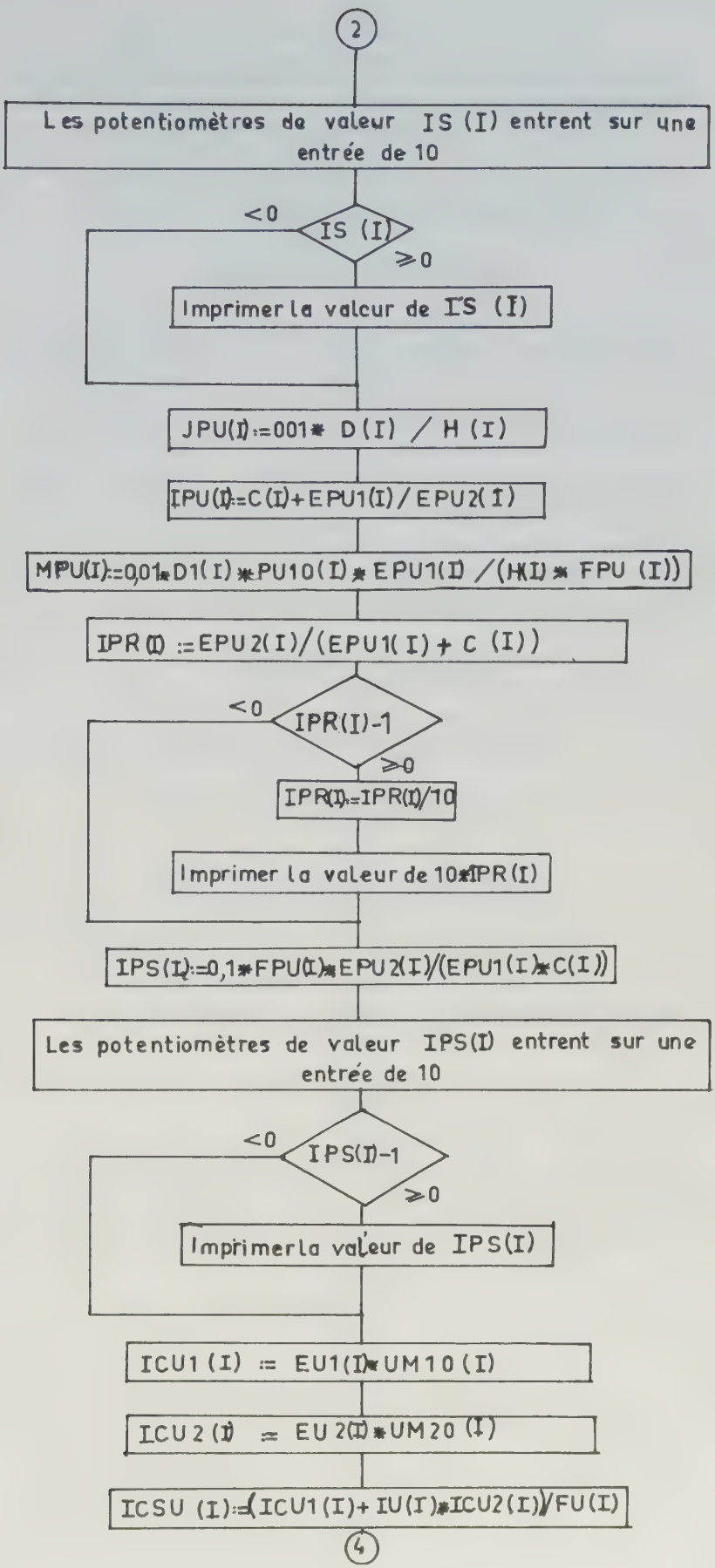
ORGANIGRAMME DU PROGRAMME SEDOR

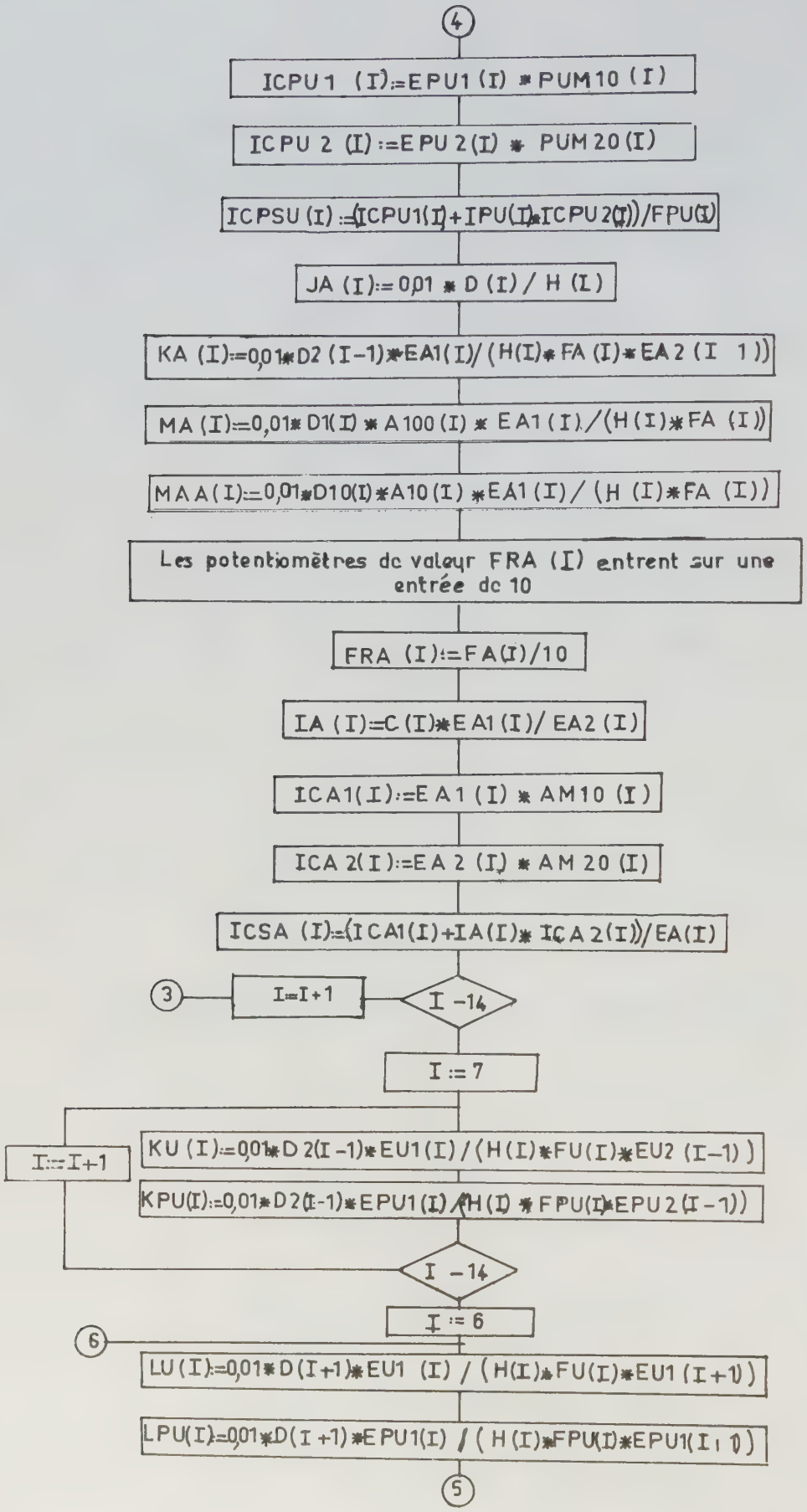
PROGRAMME DE CALCUL DES VALEURS

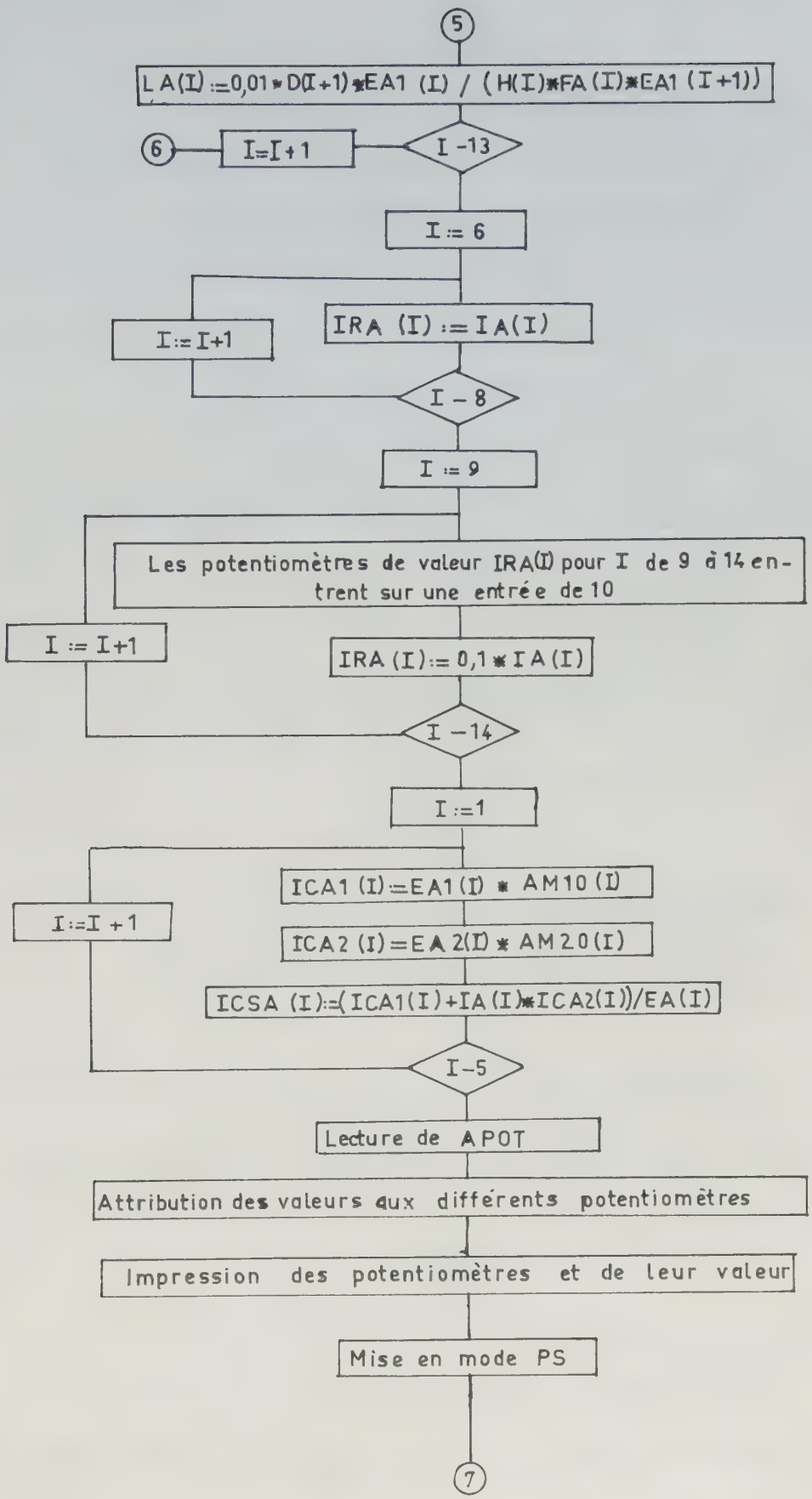
DES POTENTIOMETRES ET DU TEST STATIQUE

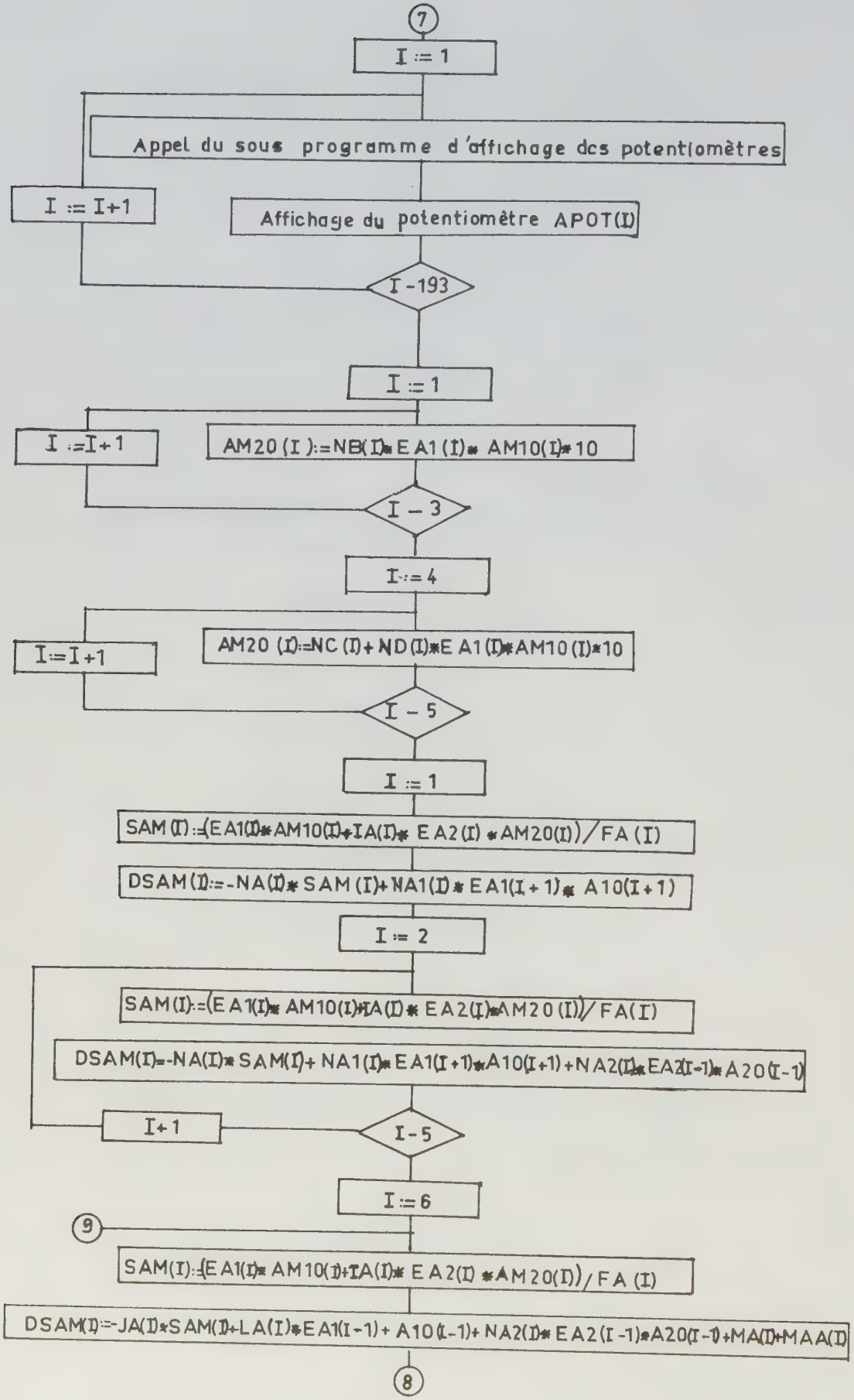


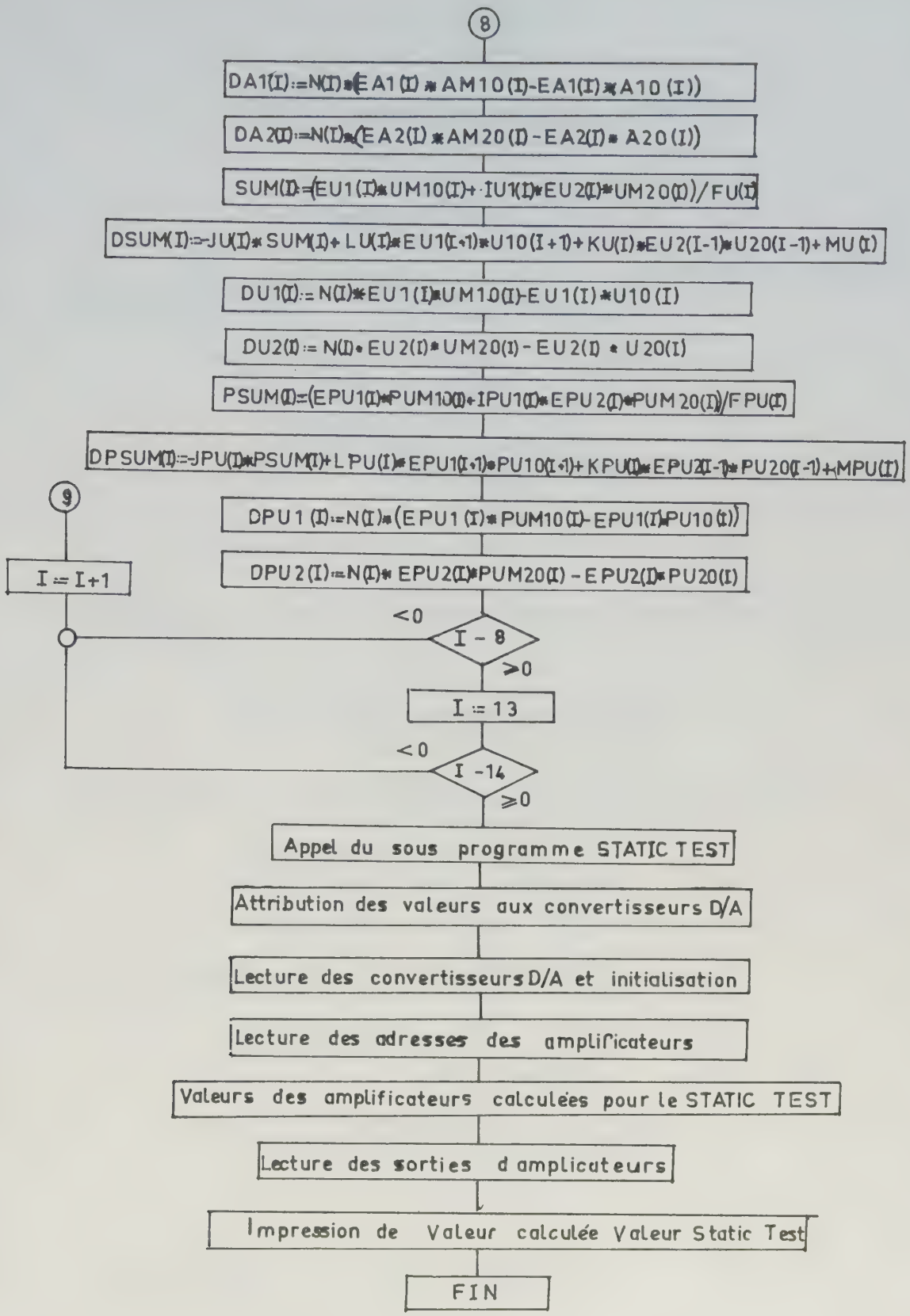

1
I := 2
NA2(I):=0,01*EA1(I)*D2(I-1)/(FA(I)*FA2(I 1)*V1(I))
I I+1
I-5
I:=6
3
CU1(I):=1 / EU1 (I)
CU2(I):=1/ EU2 (I)
CPU1 (I):=1/EPU1(I)
CPU2 (I):=1 /EPU2(I)
CA1 (I):=1/ EA1 (I)
CA2 (I):=1 / EA2 (I)
JU (I):=0,01 * D(I) / H(I)
IU(I):=C(I)*EU1(I)/ EU2(I)
MU(I):=0,01*D1(I)* U10(I) * EU1 (I) / (H(I)*FU (I))
IR(I) := EU2 (I) / EU1(I) * C(I)
<0
IR(I)
≥0
IR(I)=IR(I)/10
Imprimer la valeur de 10*IR (I)
IS(I):= 0,1+FU(I) * EU2(I) / (EU1(I)*C(I))
2

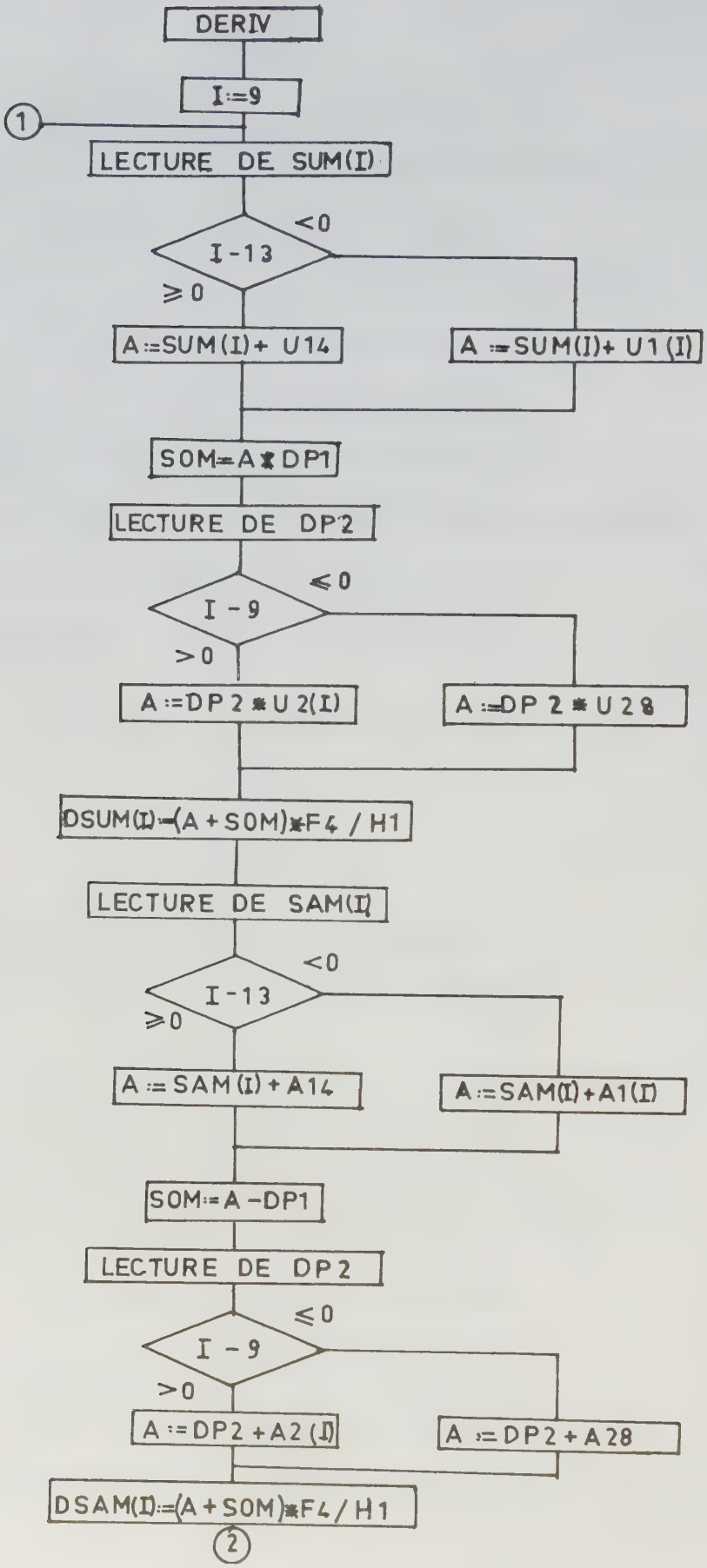

2
Les potentiomètres de valeur IS (I) entrent sur une entrée de 10
IS (I)
<0
≥0
Imprimer la valeur de IS (I)
JPU(I):=001* D(I) / H(I)
IPU(I):=C(I)+EPU1(I)/EPU2(I)
MPU(I):=0,01*D1(I)*PU10(I)*EPU1(I)/(H(I)*FPU(I))
IPR(I) :=EPU2(I)/(EPU1(I)+C(I))
IPR(I)-1
<0
≥0
IPR(I):=IPR(I)/10
Imprimer la valeur de 10*IPR(I)
IPS(I):=0,1*FPU(I)*EPU2(I)/(EPU1(I)*C(I))
Les potentiomètres de valeur IPS(I) entrent sur une entrée de 10
IPS(I)-1
<0
≥0
Imprimer la valeur de IPS(I)
ICU1(I) := EU1(I)*UM10(I)
ICU2(I) := EU2(I)*UM20(I)
ICSU(I):=(ICU1(I)+IU(I)*ICU2(I))/FU(I)
4

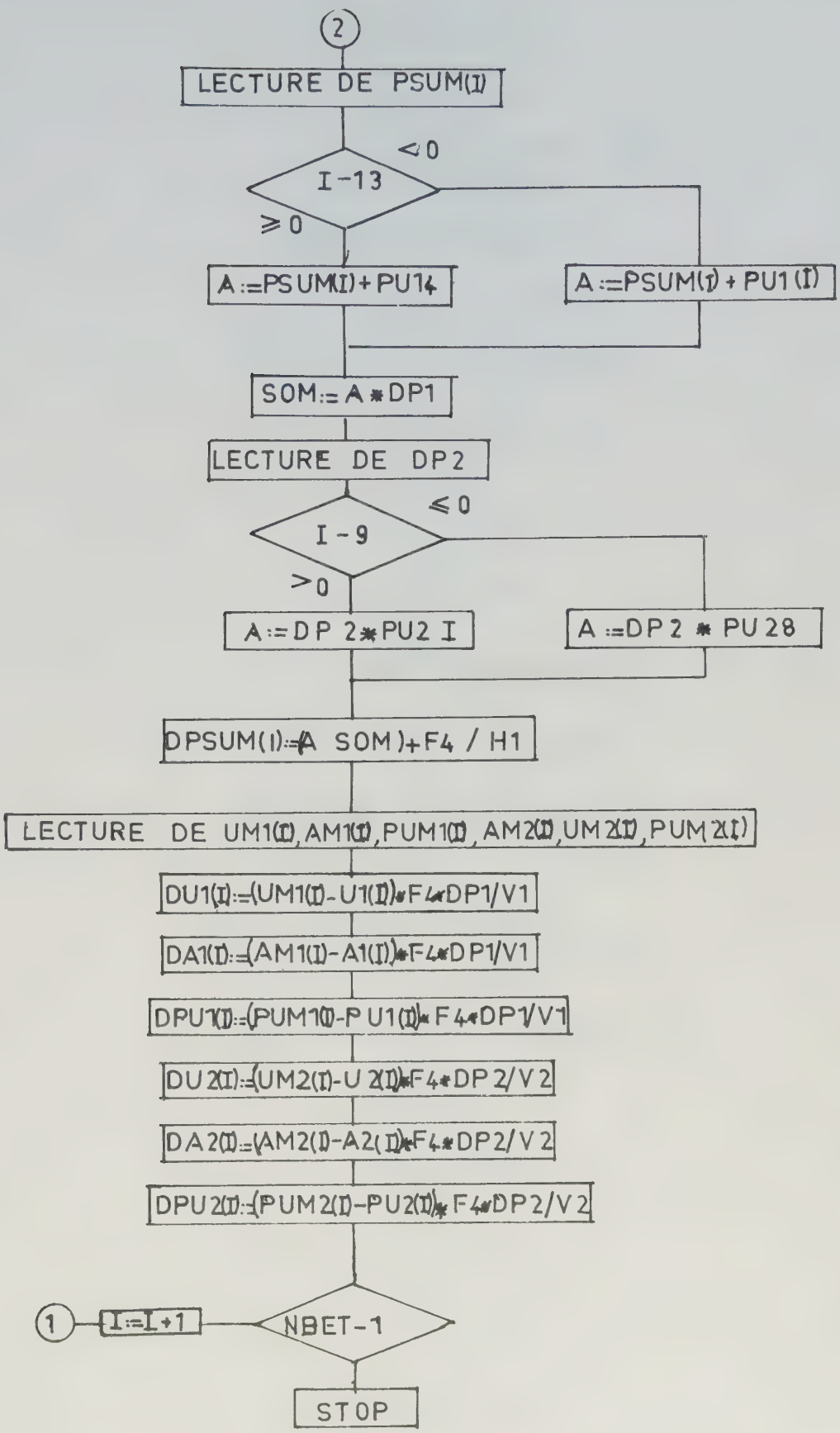

4
ICPU1 (I):=EPU1(I) * PUM10(I)
ICPU2 (I):=EPU2(I) * PUM20(I)
ICPSU(I):=(ICPU1(I)+IPU(I)*ICPU2(I))/FPU(I)
JA(I):=0,01 * D(I) / H(I)
KA(I):=0,01*D2(I-1)*EA1(I)/(H(I)*FA(I)*EA2(I-1))
MA(I):=0,01*D1(I)*A100(I)*EA1(I)/(H(I)*FA(I))
MAA(I):=0,01*D10(I)*A10(I)*EA1(I)/(H(I)*FA(I))
Les potentiomètres de valeur FRA(I) entrent sur une entrée de 10
FRA(I):=FA(I)/10
IA(I):=C(I)*EA1(I)/EA2(I)
ICA1(I):=EA1(I)*AM10(I)
ICA2(I):=EA2(I)*AM20(I)
ICSA(I):=(ICA1(I)+IA(I)*ICA2(I))/EA(I)
3
I:=I+1
I -14
I := 7
I:=I+1
KU(I):=0,01*D2(I-1)*EU1(I)/(H(I)*FU(I)*EU2(I-1))
KPU(I):=0,01*D2(I-1)*EPU1(I)/(H(I)*FPU(I)*EPU2(I-1))
I -14
I := 6
6
LU(I):=0,01*D(I+1)*EU1(I)/(H(I)*FU(I)*EU1(I+1))
LPU(I):=0,01*D(I+1)*EPU1(I)/(H(I)*FPU(I)*EPU1(I+1))
5

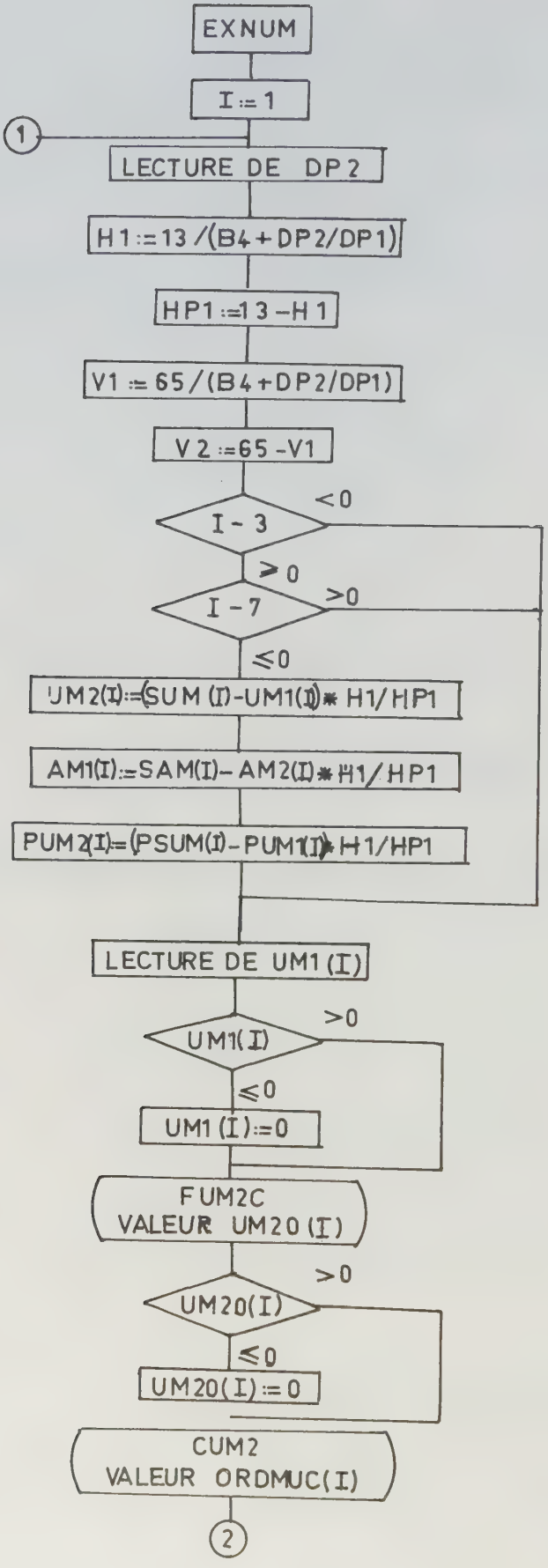

5
LA(I):=0,01*D(I+1)*EA1 (I) / (H(I)*FA(I)*EA1 (I+1))
6
I=I+1
I -13
I := 6
I:= I+1
IRA (I) := IA(I)
I - 8
I := 9
Les potentiomètres de valeur IRA(I) pour I de 9 à 14 entrent sur une entrée de 10
I := I+1
IRA (I):= 0,1 * IA (I)
I -14
I :=1
ICA1 (I):=EA1(I) * AM10 (I)
I:=I + 1
ICA2 (I)=EA2(I) * AM20(I)
ICSA (I):=(ICA1(I)+IA(I)*ICA2(I))/EA(I)
I-5
Lecture de APOT
Attribution des valeurs aux différents potentiomètres
Impression des potentiomètres et de leur valeur
Mise en mode PS
7

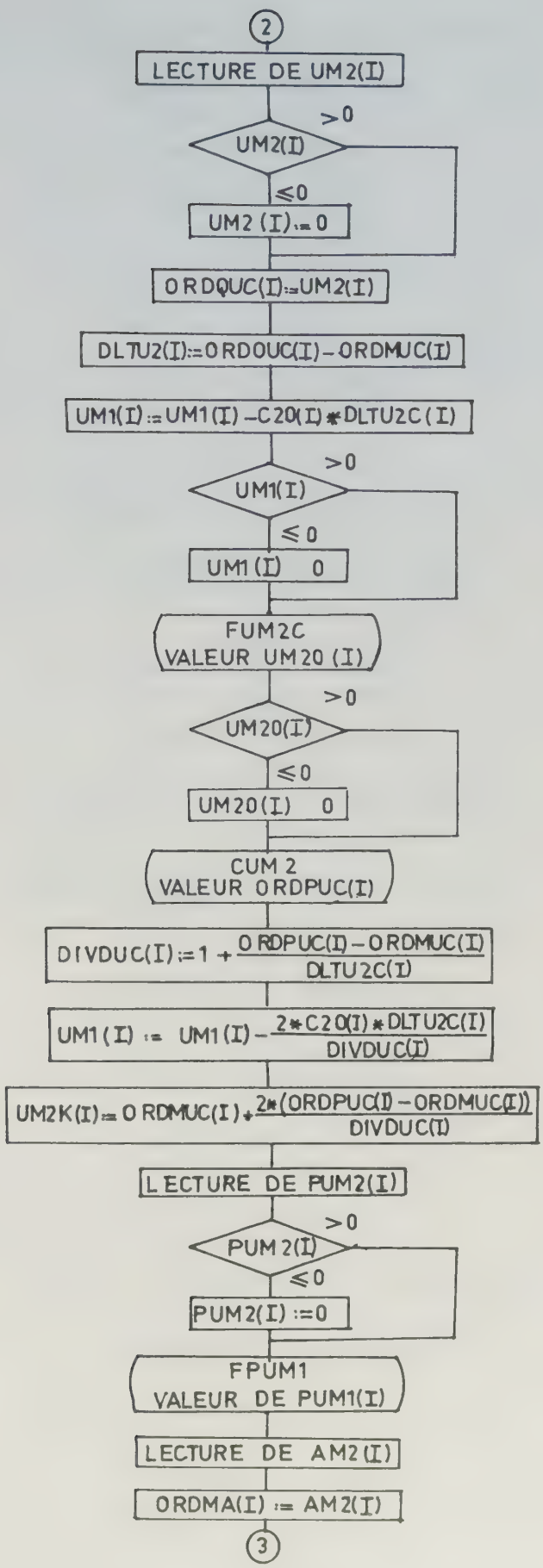

7
I := 1
Appel du sous programme d'affichage des potentiomètres
I := I+1
Affichage du potentiomètre APOT(I)
I -193
I := 1
I := I+1
AM20 (I):=NB(I)* EA1 (I)* AM10(I)*10
I - 3
I := 4
I := I+1
AM20 (I):=NC (I)+ ND(I)*EA1 (I)*AM10 (I)*10
I - 5
I := 1
SAM (I) := (EA1(I)*AM10(I)+IA(I)* EA2(I) *AM20(I)) / FA (I)
DSAM(I):=-NA(I)* SAM (I)+NA1(I)* EA1(I+1)* A10(I+1)
I := 2
SAM(I):=(EA1(I)* AM10(I)+IA(I)* EA2(I)*AM20 (I)) / FA(I)
DSAM(I)=-NA(I)* SAM(I)+ NA1(I)* EA1(I+1)*A10(I+1)+NA2(I)*EA2(I-1)* A20(I-1)
I+1
I-5
I := 6
9
SAM(I):=(EA1(I)* AM10(I)+IA(I)* EA2(I) *AM20(I)) / FA (I)
DSAM(I):=-JA(I)*SAM(I)+LA(I)*EA1(I-1)+ A10(I-1)+ NA2(I)* EA2(I-1)*A20(I-1)+MA(I)+MAA(I)
8

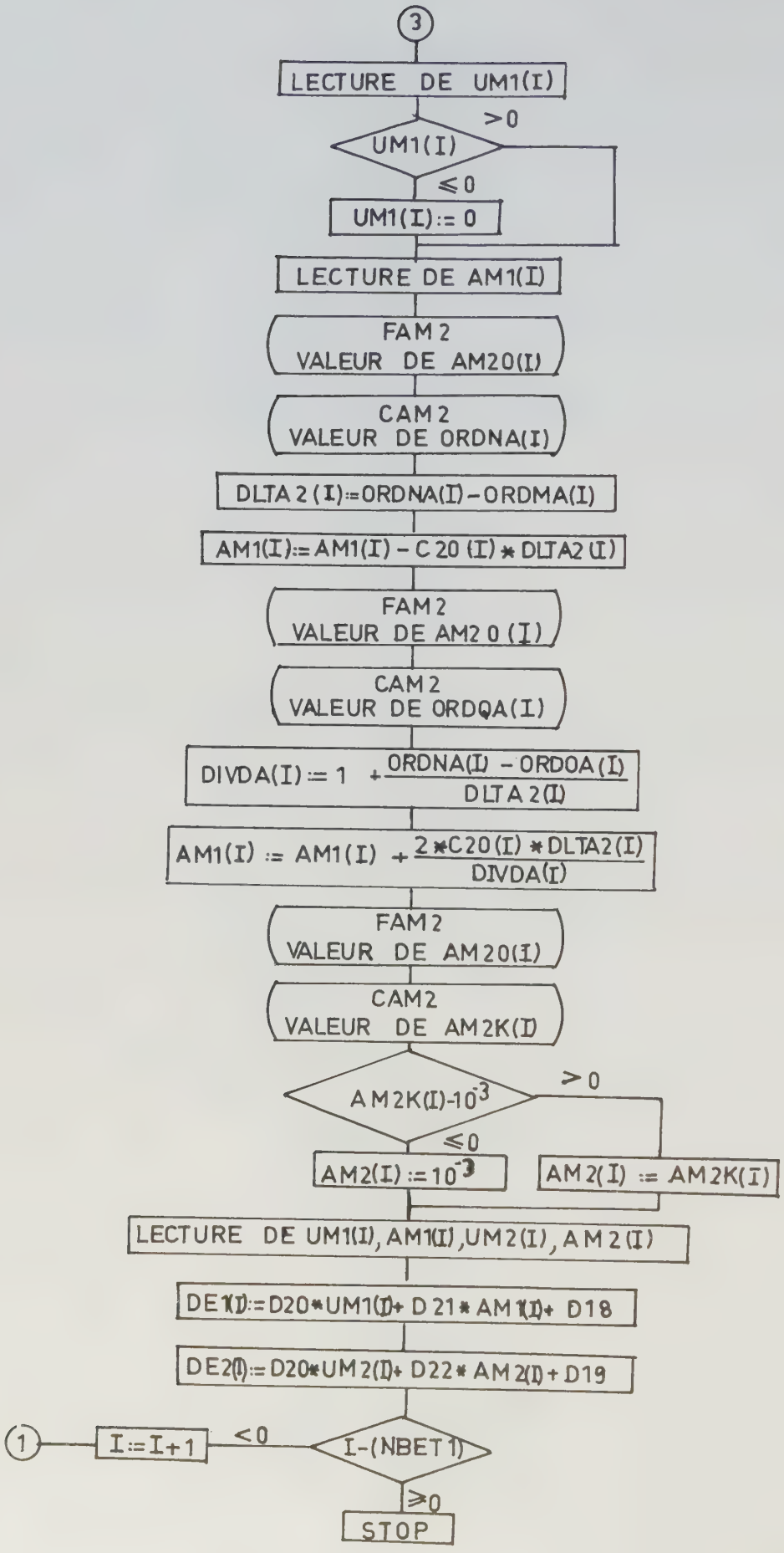

8
DA1(I):=N(I)*(EA1(I)*AM10(I)-EA1(I)*A10(I))
DA2(I):=N(I)*(EA2(I)*AM20(I)-EA2(I)*A20(I))
SUM(I):=(EU1(I)*UM10(I)+IU1(I)*EU2(I)*UM20(I))/FU(I)
DSUM(I):=JU(I)*SUM(I)+LU(I)*EU1(I-1)*U10(I+1)+KU(I)*EU2(I-1)*U20(I-1)+MU(I)
DU1(I):=N(I)*EU1(I)*UM10(I)-EU1(I)*U10(I)
DU2(I):=N(I)*EU2(I)*UM20(I)-EU2(I)*U20(I)
PSUM(I):=(EPU1(I)*PUM10(I)+IPU1(I)*EPU2(I)*PUM20(I))/FPU(I)
DPSUM(I):=JPU(I)*PSUM(I)+LPU(I)*EPU1(I-1)*PU10(I-1)+KPU(I)*EPU2(I-1)*PU20(I-1)+MPU(I)
9
DPU1(I):=N(I)*(EPU1(I)*PUM10(I)-EPU1(I)*PU10(I))
DPU2(I):=N(I)*EPU2(I)*PUM20(I)-EPU2(I)*PU20(I)
I:=I+1
<0
I-8
≥0
I:=13
<0
I-14
≥0
Appel du sous programme STATIC TEST
Attribution des valeurs aux convertisseurs D/A
Lecture des convertisseurs D/A et initialisation
Lecture des adresses des amplificateurs
Valeurs des amplificateurs calculées pour le STATIC TEST
Lecture des sorties d amplicateurs
Impression de Valeur calculée Valeur Static Test
FIN


DERIV
I:=9
1
LECTURE DE SUM(I)
I-13
<0
≥0
A:=SUM(I)+ U14
A :=SUM(I)+ U1(I)
SOM:=A*DP1
LECTURE DE DP2
I - 9
≤0
>0
A :=DP 2 * U 2(I)
A :=DP 2 * U 28
DSUM(I):=(A + SOM)*F4 / H1
LECTURE DE SAM(I)
I-13
<0
≥0
A := SAM (I) + A14
A :=SAM(I)+A1(I)
SOM:=A -DP1
LECTURE DE DP2
I - 9
≤0
>0
A :=DP2 +A2 (I)
A :=DP2 +A28
DSAM(I):=(A + SOM)*F4 / H1
2

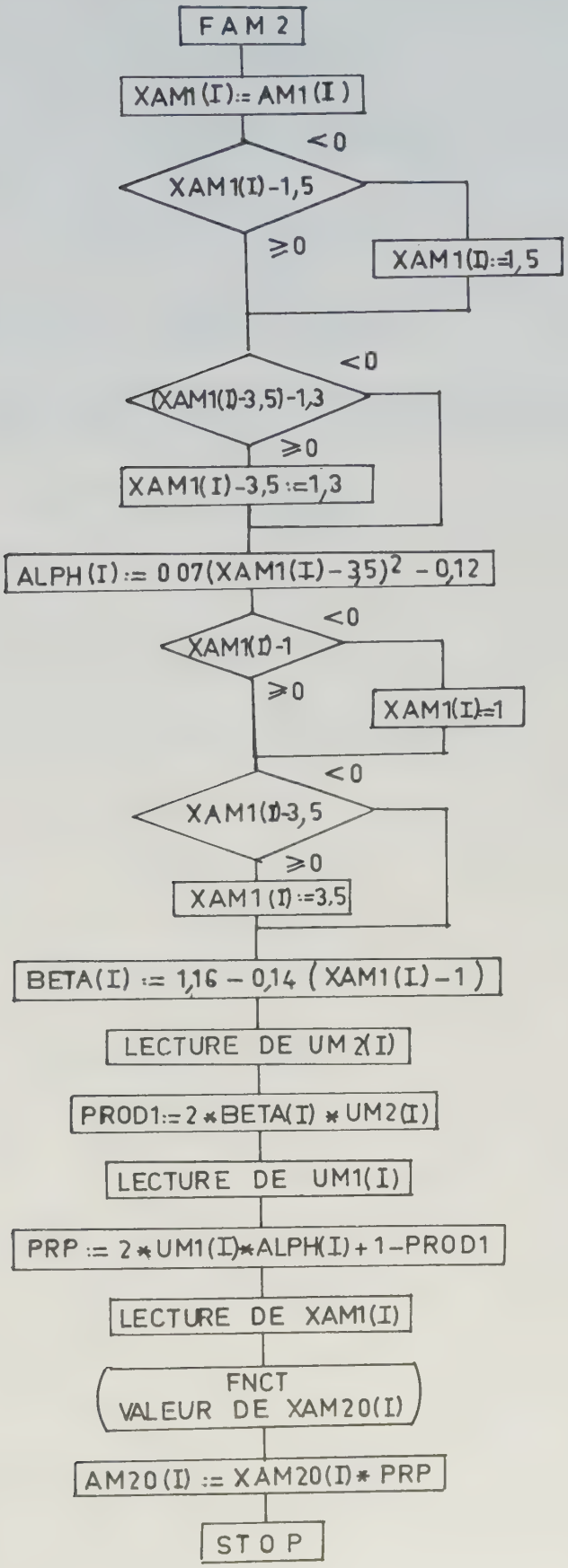

2
LECTURE DE PSUM(I)
I-13
< 0
≥ 0
A :=PSUM(I) + PU14
A :=PSUM(I) + PU1(I)
SOM:= A * DP1
LECTURE DE DP2
I - 9
≤ 0
> 0
A :=DP 2 * PU2 I
A :=DP 2 * PU 28
DPSUM(I):=(A SOM)+F4 / H1
LECTURE DE UM1(I), AM1(I), PUM1(I), AM2(I), UM2(I), PUM2(I)
DU1(I):=(UM1(I)-U1(I))*F4*DP1/V1
DA1(I):=(AM1(I)-A1(I))*F4*DP1/V1
DPU1(I):=(PUM1(I)-PU1(I))*F4*DP1/V1
DU2(I):=(UM2(I)-U2(I))*F4*DP2/V2
DA2(I):=(AM2(I)-A2(I))*F4*DP2/V2
DPU2(I):=(PUM2(I)-PU2(I))*F4*DP2/V2
1
I:=I+1
NBET-1
STOP


EXNUM
I := 1
1
LECTURE DE DP2
H1 := 13 / (B4 + DP2/DP1)
HP1 := 13 - H1
V1 := 65 / (B4 + DP2/DP1)
V2 := 65 - V1
I - 3
< 0
≥ 0
I - 7
> 0
≤ 0
UM2(I) := (SUM (I) - UM1(I)) * H1/HP1
AM1(I) := SAM(I) - AM2(I) * H1/HP1
PUM2(I) := (PSUM(I) - PUM1(I)) * H1/HP1
LECTURE DE UM1 (I)
UM1(I)
> 0
≤ 0
UM1 (I) := 0
FUM2C
VALEUR UM20 (I)
UM20(I)
> 0
≤ 0
UM20(I) := 0
CUM2
VALEUR ORDMUC(I)
2

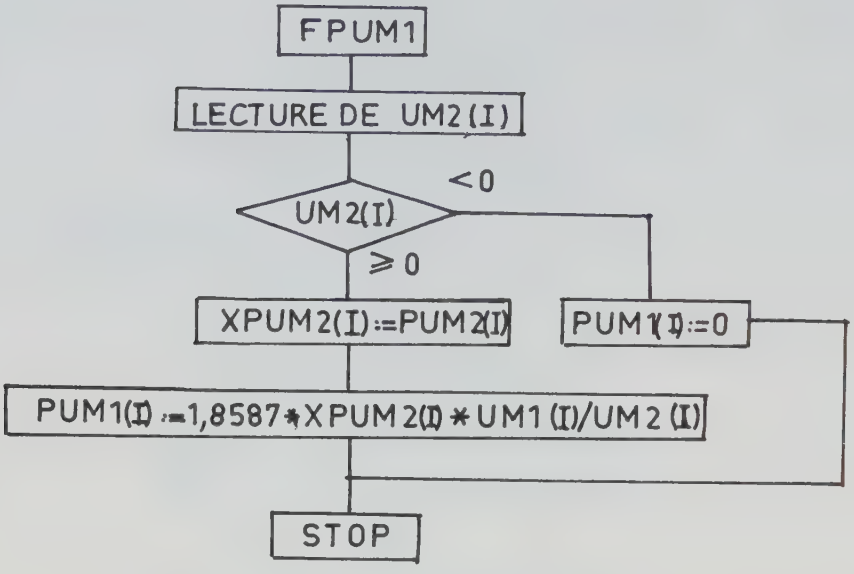

2
LECTURE DE UM2(I)
UM2(I)
>0
≤0
UM2(I):=0
ORDOUC(I):=UM2(I)
DLTU2(I):=ORDOUC(I)-ORDMUC(I)
UM1(I):=UM1(I)-C20(I)*DLTU2C(I)
UM1(I)
>0
≤0
UM1(I) 0
FUM2C
VALEUR UM20(I)
UM20(I)
>0
≤0
UM20(I) 0
CUM 2
VALEUR ORDPUC(I)
DIVDUC(I):=1+(ORDPUC(I)-ORDMUC(I))/DLTU2C(I)
UM1(I) := UM1(I)-(2*C20(I)*DLTU2C(I))/DIVDUC(I)
UM2K(I):=ORDMUC(I)+(2*(ORDPUC(I)-ORDMUC(I)))/DIVDUC(I)
LECTURE DE PUM2(I)
PUM2(I)
>0
≤0
PUM2(I):=0
FPUM1
VALEUR DE PUM1(I)
LECTURE DE AM2(I)
ORDMA(I) := AM2(I)
3


3
LECTURE DE UM1(I)
UM1(I)
>0
≤0
UM1(I):= 0
LECTURE DE AM1(I)
FAM2
VALEUR DE AM20(I)
CAM2
VALEUR DE ORDNA(I)
DLTA2(I):=ORDNA(I)-ORDMA(I)
AM1(I):=AM1(I)-C20(I)*DLTA2(I)
FAM2
VALEUR DE AM20(I)
CAM2
VALEUR DE ORDOA(I)
DIVDA(I):=1+(ORDNA(I)-ORDOA(I))/DLTA2(I)
AM1(I):=AM1(I)+(2*C20(I)*DLTA2(I))/DIVDA(I)
FAM2
VALEUR DE AM20(I)
CAM2
VALEUR DE AM2K(I)
AM2K(I)-10^-3
>0
≤0
AM2(I):=10^-3
AM2(I):=AM2K(I)
LECTURE DE UM1(I),AM1(I),UM2(I),AM2(I)
DE1(I):=D20*UM1(I)+D21*AM1(I)+D18
DE2(I):=D20*UM2(I)+D22*AM2(I)+D19
1
I:=I+1
<0
I-(NBET1)
≥0
STOP

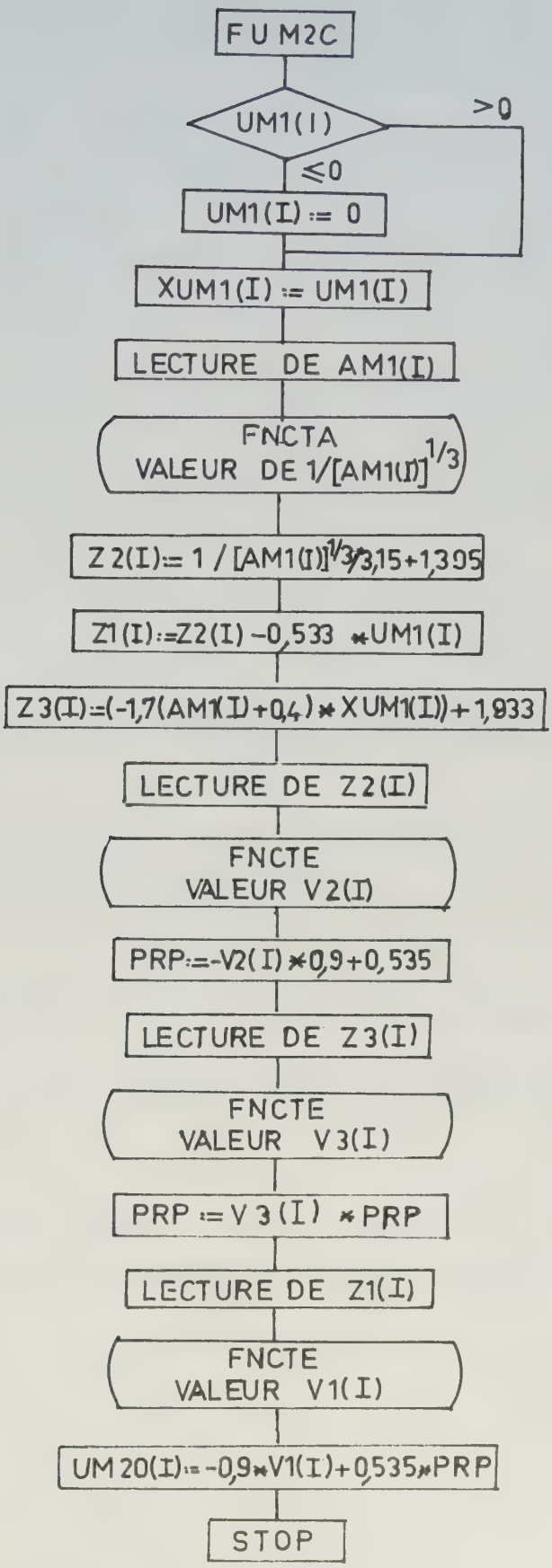
Equation algébrique en acide



Equation algébrique en Plutonium



Equation transcendante en Uranium



```
C PROGRAMME PRINCIPAL POUR L'OPTIMISATION D'UNE BATTERIE DE MELANGEURS-
C DECANTEURS , TRAITEE PAR MACHINE HYBRIDE
      COMMON SUM(14),SAM(14),PSUM(14),U10(14),U20(14),PU10(14),PU20(14),
     1A10(14),A20(14),UM10(14),UM20(14),PUM10(14),PUM20(14),AM10(14),AM2
     20(14),DSUM(14),DSAM(14),DPSUM(14),DU1(14),DA1(14),DU2(14),DA2(14),
     3DPU1(14),DPU2(14)
      COMMON/UNPRIME/UM1(14),UM2(14),PUM1(14),PUM2(14),AM1(14),AM2(14)
      COMMON/ADPOT/APOT(213),ADST(48)
      COMMON/SEPT/DED1(0/20),DED2(0/20)
      COMMON/HUIT/UK(0/20),PUK(0/20)
      EXTENDED APOT
      EXTENDED ADST
      REAL K1,K2
      DATA K1/3.65/,K2/-8.14/,UOPT/1.0504/,PUOPT/16.7364/
/990   LDC      =0
      READ(5,40)UM1(8),PUM1(8)
      CALL ISED
      READ(5,55)APOT
      READ (5,55) ADST
      DED1(0)=0
      DED2(0)=0
      UK(0)=UM1(8)
      PUK(0)=PUM1(8)
      J=1
      PRINT 41,J
      DED1(J)=K1
      DED2(J)=0
      CALL CAL(J)
      UK(J)=UM1(8)
      PUK(J)=PUM1(8)
      PRINT 40,UK(J),PUK(J)
      J=J+1
      PRINT 41,J
      DED1(J)=0
      DED2(J)=K2
      CALL CAL(J)
      UK(J)=UM1(8)
      PUK(J)=PUM1(8)
      PRINT 40,UK(J),PUK(J)
      J=J+1
      PRINT 41,J
      DED1(J)=(UOPT-UK(0))/(UK(J-2)-UK(0))*DED1(J-2)
      DED2(J)=(UOPT-UK(0))/(UK(J-1)-UK(0))*DED2(J-1)
      CALL CAL(J)
      UK(J)=UM1(8)
      PUK(J)=PUM1(8)
      PRINT 40,UK(J),PUK(J)
      J=J+1
      PRINT 41,J
      DED1(J)=(UK(J-3)*DED1(J-3)+UK(J-2)*DED1(J-2)+UK(J-1)*DED1(J-1))/3.
     1/UOPT
      DED2(J)=(UK(J-3)*DED2(J-3)+UK(J-2)*DED2(J-2)+UK(J-1)*DED2(J-1))/3.
     1/UOPT
      CALL CAL(J)
      UK(J)=UM1(8)
      PUK(J)=PUM1(8)
      PRINT 40,UK(J),PUK(J)
      J=J+1
      PRINT 41,J
      DED1(J)=(PUOPT-PUK(0))/(PUK(J-4)-PUK(0))*DED1(J-4)
      DED2(J)=(PUOPT-PUK(0))/(PUK(J-3)-PUK(0))*DED2(J-3)
      CALL CAL(J)
      UK(J)=UM1(8)
      PUK(J)=PUM1(8)
      PRINT 40,UK(J),PUK(J)
      J=J+1
      PRINT 41,J
      DED1(J)=(PUK(J-5)*DED1(J-5)+PUK(J-4)*DED1(J-4)+PUK(J-1)*DED1(J-1))
     1/3./PUOPT
      DED2(J)=(PUK(J-5)*DED2(J-5)+PUK(J-4)*DED2(J-4)+PUK(J-1)*DED2(J-1))
     1/3./PUOPT
      CALL CAL(J)
      UK(J)=UM1(8)
      PUK(J)=PUM1(8)
      PRINT 40,UK(J),PUK(J)
 40 FORMAT(3X,5E11.4)
 41 FORMAT(3X,2HJ=,I2)
 55 FORMAT (8A4)
      STOP
      END
```

```
      SUBROUTINE CAL(J)
      COMMON/DEBIT/DP1(14),DP2(14),DD1P(14),DD2P(14)
      EQUIVALENCE (DD1,DD1P(8)),(DD2,DD2P(8))
      COMMON/SEPT/DED1(0/20),DED2(0/20)
      DO 100 M=8,14
      DP1(M)=DP1(M)+DED1(J)-DED1(J-1)
      DP2(M)=DP2(M)+DED2(J)-DED2(J-1)
  100 CONTINUE
      PRINT 110,DP1(8),DP2(8)
  110 FORMAT(3X,2E11.4)
      CALL AFFPOT
      CALL SED
      RETURN
      END
```

```
C CE PROGRAMME CALCULE LES VALEURS DES POTENTIOMETRES
C DE LA MACHINE 8800 ET LES AFFICHE.
      BLOCK DATA
      COMMON/DEBIT/ D10(14),D2(14),DD1(14),DD2(14)
      COMMON/ECH/EA1(15),EA2(14)
      DATA D10/73.,73.,73.,73.,73.,73.,73.,73.,73.,73.,73.,73.,73./,
     1D2/407.,407.,407.,407.,407.,407.,407.,407.,407.,407.,407.,
     2407.,407./
      DATA EA1/.1,.1,.1,.1,.1,.1,.1,.1,.2,.2,.2,.2,.2,.2,0./,EA2/.5,.5,
     1.5,.5,.5,.5,.5,.5,1.,1.,1.,1.,1.,1./
      END
```

```
      SUBROUTINE AFFPST
      LOGICAL C
      REAL IA,IU,IPU,N,NA,NA1,NA2,NB,NC,ND,JU,JPU,LU,LPU,KU,KPU,
     1MU,MPU,IR,IPR,IS,IPS,IA,IRA,JA,LA,KA,MA,ICSU,ICPSU,ICU1,ICPU1,
     2ICU2,ICPU2,ICSA,ICA1,ICA2,MAA
      DIMENSION D(14),CD(14),N(14),NA(14),NA1(14),NA2(14),NB(14),
     1NC(14),ND(14),IU(14),IPU(14),JU(14),JPU(14),LU(14),LPU(14),KU(14),
     2KPU(14),MU(14),MPU(14),IR(14),IPR(14),IS(14),IPS(14),IA(14),
     3IRA(14),JA(14),LA(14),KA(14),MA(14),ICSU(14),ICPSU(14),ICU1(14),
     4ICPU1(14),ICU2(14),ICPU2(14),ICSA(14),ICA1(14),ICA2(14),FRA(14)
     5,CU1(14),CPU1(14),CU2(14),CPU2(14),CA1(14),CA2(14),DD(5)
      DIMENSION EPU1(15),EPU2(14),FU(14),FPU(14),FA(14),D1(14),EU1(15),
     1EU2(14)
      DIMENSION TDA(16)
      DIMENSION VAST(48)
      EXTENDED ADST
      EXTENDED ANAD
      DIMENSION U100(14),PU100(14),A200(14),MAA(14),A100(14)
      DIMENSION VPST(213)
      COMMON/DEBIT/ D10(14),D2(14),DD1(14),DD2(14)
      COMMON/ECH/EA1(15),EA2(14)
      COMMON SUM(14),SAM(14),PSUM(14),U10(14),U20(14),PU10(14),PU20(14),
     1A10(14),A20(14),UM10(14),UM20(14),PUM10(14),PUM20(14),AM10(14),AM2
     20(14),DSUM(14),DSAM(14),DPSUM(14),DU1(14),DA1(14),DU2(14),DA2(14),
     3DPU1(14),DPU2(14)
      COMMON/ADPST/APST(213),ADST(48)
      EXTENDED APST
      EXTENDED ADST
      COMMON/DEUX/H(14),HP(14),V1(14),V2(14)
      DATAD1/100.,100.,100.,100.,100.,100.,100.,100.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0./,
     4U100/0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,1.66067,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0./,A100/0.,0.,0.
     5,0.,0.,0.,0.,0.,2.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,3./,PU100/0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,16
     6.7364,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0./,EU1/0.,0.,0.,0.,0.,0.,2.,.5,.25,1.,1.,1.,1.,
     71.,1.,0./,EPU1/0.,0.,0.,0.,0.,0.,1.,1.,.05,.05,.2,.2,.2,.2,.2,0./,
     9                                EU2/0.,0.,0.,0.,.2,.2,.5,.5,1.,1.,1.,
     A1.,1.,1./,EPU2/0.,0.,0.,0.,0.,.5,1.,1.,1.,.5,.5,.5,.5,1.,1./,FU/0.,
     B0.,0.,0.,0.,.5,.5,.5,1.,1.,1.,1.,1.,.5,/,FPU/0.,0.,0.,0.,0.,0.,.5,.10.,
     C5.,1.,1.,1.,1.,1.,20./,FA/2.,.5,.2,.2,.2,.5,.5,.5,1.,1.,1.,1.,1.,5
     D./
      DATA UM10/0.,0.,0.,0.,0.,.000783,.022950,.629789,.49064,.389924,
     1.320386,.260735,.201457,.127470/,UM20/0.,0.,0.,0.,0.,.000298,.0096438
     2,.267331,.501218,.483655,.471006,.460546,.449705,.436638,.411983/
     3,AM10/2.108,3.182,3.620,3.770,3.821,3.8642,3.8742,3.1306,2.2264,
     42.3294,2.4129,2.5006,2.6043,2.7435/,AM20/.470,.662,.728,.750,.758,
     5.76044,.43899,.001,.01906,.03402,.049695,.068373,.093095,.13821/,
     6PUM10/0.,0.,0.,0.,0.,0.,.061422,.951924,14.041,10.539,8.14644,6.54100
     7,5.19665,3.902301,2.36724/,PUM20/0.,0.,0.,0.,0.,0.,.40649,5.9653,
     86.0117,5.587,5.29456,5.05858,4.82218,4.5503,4.11619/
      DATA U10/0.,0.,0.,0.,0.,0.,.000783,.022950,.629789,.49064,.389924,
     1.320386,.260735,.201457,.127470/,U20/0.,0.,0.,0.,0.,.000298,.0096438
     2,.267331,.501218,.483655,.471006,.460546,.449705,.436638,.411983/
     3,A10/2.108,3.182,3.620,3.770,3.821,3.8642,3.8742,3.1306,2.2264,
     42.3294,2.4129,2.5006,2.6043,2.7435/,A20/.470,.662,.728,.750,.758,
     5.76044,.43899,.001,.01906,.03402,.049695,.068373,.093095,.13821/,
     6PU10/0.,0.,0.,0.,0.,0.,.061422,.951924,14.041,10.539,8.14644,6.54100
     7,5.19665,3.902301,2.36724/,PU20/0.,0.,0.,0.,0.,0.,.40649,5.9653,
     86.0117,5.587,5.29456,5.05858,4.82218,4.5503,4.11619/
      DATA DE10/1.4206/,DE20/.98629/
      DATA COR/.5000/
      DATA VM/13./,VM1/234./
      DATA EFE/.001/,ED298/.002/,ED188/.005/,ED2/.002/,ED1814/.01/
      DATA D138/173./,D238/407./,D1814/73./,DELD2/0./
/991   LDC     =0
    1 CONTINUE
      PRINT 5
    5 FORMAT(1H1,8HMARCOULE,////,12H DECEMBRE 70////)
      DO 10 I=1,14,1
      D(I)=D1(I)+D10(I)
      H(I)=13./(1.+D2(I)/D(I))
      HP(I)=13-H(I)
      V1(I)=65./(1.+D2(I)/D(I))
      V2(I)=65-V1(I)
      CD(I)=D2(I)/D(I)
      N(I)=0.01*D(I)/V1(I)
   10 CONTINUE
      DO 11 I=1,5,1
      IA(I)=CD(I)*EA1(I)/EA2(I)
      NA(I)=0.01*D(I)/V1(I)
      NA1(I)=0.01*D(I+1)*EA1(I)/(FA(I)*EA1(I+1)*V1(I))
      NC(I)=0.1*EA2(I)
C   LES POTS DE VALEURS NB(I) RENTRENT SUR UNE ENTREE DE 10
      NB(I)=0.1*0.21*EA2(I)/EA1(I)
      ND(I)=0.17*EA2(I)/EA1(I)
   11 CONTINUE
      DO 12 I=2,5,1
      NA2(I)=EA1(I)*D2(I-1)*0.01/(FA(I)*EA2(I-1)*V1(I))
   12 CONTINUE
      DO 13 I=6,14,1
      CU1(I)=1./EU1(I)
      CU2(I)=1./EU2(I)
      CPU1(I)=1/EPU1(I)
      CPU2(I)=1/EPU2(I)
      CA1(I)=1/EA1(I)
      CA2(I)=1/EA2(I)
```

```
      JU(I)=0.01*D(I)/H(I)
      IU(I)=CD(I)*EU1(I)/EU2(I)
      MU(I)=EU1(I)*D1(I)*U100(I)/(100.*FU(I)*H(I))
      IR(I)=EU2(I)/(EU1(I)*CD(I))
      IF(IR(I).LT.1.)GO TO 14
      IR(I)=IR(I)/10
      PRINT2,I
    2 FORMAT(1H ,2HIR,I2,3H=10)
   14 IS(I)=0.1*FU(I)*EU2(I)/(EU1(I)*CD(I))
C  LES POTS DE VALEUR IS(I) ET IPS(I) RENTRENT SUR UNE ENTREE DE 10
      IF(IS(I).LT.1.)GO TO 400
      PRINT 401,I,IS(I)
  401 FORMAT(3H IS,I2,1H=F7.4)
  400 CONTINUE
      JPU(I)=0.01*D(I)/H(I)
      MPU(I)=EPU1(I)*D1(I)*PU100(I)/(100.*FPU(I)*H(I))
      IPU(I)=CD(I)*EPU1(I)/EPU2(I)
      IPR(I)=EPU2(I)/(EPU1(I)*CD(I))
      IF(IPR(I).LT.1.)GO TO 15
      IPR(I)=IPR(I)/10
      PRINT 3,I
    3 FORMAT(4H IPR,I2,3H=10)
   15 IPS(I)=0.1*FPU(I)*EPU2(I)/(EPU1(I)*CD(I))
      IF(IPS(I).LT.1.)GO TO 402
      PRINT 403,I,IPS(I)
  403 FORMAT(4H IPS,I2,1H=F7.4)
  402 CONTINUE
      ICU1(I)=EU1(I)*UM10(I)
      ICU2(I)=EU2(I)*UM20(I)
      ICSU(I)=(ICU1(I)+IU(I)*ICU2(I))/FU(I)
      ICPU1(I)=EPU1(I)*PUM10(I)
      ICPU2(I)=EPU2(I)*PUM20(I)
      ICPSU(I)=(ICPU1(I)+IPU(I)*ICPU2(I))/FPU(I)
      JA(I)=0.01*D(I)/H(I)
      KA(I)=EA1(I)*D2(I-1)/(100.*FA(I)*EA2(I-1)*H(I))
      MA(I)=EA1(I)*D1(I)*A100(I)/(100.*FA(I)*H(I))
      MAA(I)=EA1(I)*D10(I)*A100(I)/(100.*FA(I)*H(I))
C  LES POTS DE VALEUR FRA(I) RENTRENT SUR UNE ENTREE DE 10
      FRA(I)=FA(I)/10.
      IA(I)=CD(I)*EA1(I)/EA2(I)
      ICA1(I)=EA1(I)*AM10(I)
      ICA2(I)=EA2(I)*AM20(I)
      ICSA(I)=(ICA1(I)+IA(I)*ICA2(I))/FA(I)
   13 CONTINUE
      DO 16 I=6,14,1
      KU(I)=EU1(I)*D2(I-1)/(100.*FU(I)*EU2(I-1)*H(I))
      KPU(I)=EPU1(I)*D2(I-1)/(100.*FPU(I)*EPU2(I-1)*H(I))
   16 CONTINUE
      DO 19 I=1,8,1
      IRA(I)=IA(I)
   19 CONTINUE
      DO 17 I=9,14,1
C  LES POTS DE VALEUR IRA(I) POUR I=9A14 RENTRENT SUR UNE ENTREE DE 10
      IRA(I)=0.1*IA(I)
   17 CONTINUE
      DO 213 I=1,5,1
      ICA1(I)=EA1(I)*AM10(I)
      ICA2(I)=EA2(I)*AM20(I)
      ICSA(I)=(ICA1(I)+IA(I)*ICA2(I))/FA(I)
      IF(ICSA(I).LE.0) ICSA(I) =0
  213 CONTINUE
      DO 18 I=6,13,1
      LU(I)=EU1(I)*D(I+1)/(100.*FU(I)*EU1(I+1)*H(I))
      LPU(I)=EPU1(I)*D(I+1)/(100.*FPU(I)*EPU1(I+1)*H(I))
      LA(I)=EA1(I)*D(I+1)/(100.*FA(I)*EA1(I+1)*H(I))
   18 CONTINUE
      I=8
      FE8=1/EFE*(0.5*D2(8)*ED2+0.5*DELD2*ED2+0.1*D1S14*ED1S14+0.1)
      DD1S8=(10./VM1)*FE8*EFE*(-D1S8*ED1S8+D1S14*ED1S14*0.5+0.5)
      D2S8=1/ED2S8*(D2(8)*ED2S8+DELD2*ED2+0.2*D1S14*ED1S14-0.4*D1S8*ED1S
     18+0.2)
      FE14=1/EFE*(0.001*D(14)+FE8*EFE-0.2*D1S8*ED1S8)
      DD1S14=(10./VM1)*FE14*EFE*(-D1S14*ED1S14+0.01*D(14))
      FE=EFE*FE8
      FE1=EFE*FE14
      ALPHA=D1S8/(FE8-D1S8)
      BET=D1S14/(FE14-D1S14)
      DELD14=BET*(1-ALPHA)*DELD2/(1-BET*(1-ALPHA))
      DELD8=ALPHA*DELD2/(1-BET*(1-ALPHA))
      EXTENDED ANADR
C
      J=1
      I=6
  330 VPOT(J)=ICSA(I)
      VPOT(J+1)=ICA1(I)
      VPOT(J+2)=ICA2(I)
      VPOT(J+3)=N(I)
      VPOT(J+4)=N(I)
      VPOT(J+5)=N(I)
      VPOT(J+6)=N(I)
      VPOT(J+7)=N(I)
      VPOT(J+8)=N(I)
      VPOT(J+9)=N(I)
      VPOT(J+10)=N(I)
      VPOT(J+11)=N(I)
      VPOT(J+12)=N(I)
```

```
      VP0T(J+13)=N(I)
      VP0T(J+14)=N(I)
      VP0T(J+15)=KU(I)
      VP0T(J+16)=KPU(I)
      VP0T(J+17)=ICSU(I)
      VP0T(J+18)=ICPSU(I)
      VP0T(J+19)=ICU1(I)
      VP0T(J+20)=ICPU1(I)
      VP0T(J+21)=ICU2(I)
      VP0T(J+22)=ICPU2(I)
      VP0T(J+23)=KA(I)
      J=J+24
      IF (I-8)30,32,30
   32 I=13
   30 IF (I.GE.14)G0 T0 332
      I=I+1
      G0 T0 330
C
  332 J=97
      D0 430 I=6,7
      VP0T(J)=I8(I)
      VP0T(J+1)=IPS(I)
      VP0T(J+2)=IR(I)
      VP0T(J+3)=IPR(I)
      VP0T(J+4)=IRA(I)
      VP0T(J+5)=JU(I)
      VP0T(J+6)=JPU(I)
      VP0T(J+7)=JA(I)
      J=J+8
  430 CONTINUE
C
      D0 37 J=113,119
      VP0T(J)=10./VM
   37 CONTINUE
      VP0T(119)=10./VM1
      VP0T(120)=10./VM1
      VP0T(121)=EU2(8)*FU(8)/(EU1(8)*10)
      VP0T(122)=EU2(8)/(EU1(8)*10)
      VP0T(123)=EPU2(8)*FPU(8)/(EPU1(8)*100)
      VP0T(124)=EPU2(8)/(EPU1(8)*10)
      VP0T(125)=FA(8)/10
      VP0T(126)=EA1(8)/EA2(8)
      VP0T(127)=EU2(14)*FU(14)/(EU1(14)*10)
      VP0T(128)=EU2(14)/(EU1(14)*10)
      VP0T(129)=EPU2(14)*FPU(14)/(EPU1(14)*100)
      VP0T(130)=EPU2(14)/(EPU1(14)*10)
      VP0T(131)=FA(14)/10
      VP0T(132)=EA1(14)/EA2(14)
      J=133
      D0 33 I=6,8
      VP0T(J)=LU(I)
      VP0T(J+1)=LPU(I)
      VP0T(J+2)=LA(I)
      J=J+3
   33 CONTINUE
C
      J=142
      D0 36 I=1,5
      VP0T(J)=NA(I)
      VP0T(J+1)=NA1(I)
      VP0T(J+2)=IRA(I)
      VP0T(J+3)=ICSA(I)
      J=J+4
   36 CONTINUE
C
      VP0T(162)=NA2(2)
      VP0T(163)=NA2(3)
      VP0T(164)=NA2(4)
      VP0T(165)=NA2(5)
      VP0T(166)=NB(1)
      VP0T(167)=NB(2)
      VP0T(168)=NB(3)
      VP0T(169)=ND(4)*0.1
      VP0T(170)=ND(5)*0.1
      VP0T(171)=NC(4)
      VP0T(172)=NC(5)
      VP0T(173)=MU(8)
      VP0T(174)=MPU(8)
      VP0T(175)=MA(8)
      VP0T(176)=MAA(14)
      VP0T(177)=C0R
      VP0T(178)=C0R
      VP0T(179)=C0R
      VP0T(180)=C0R
      VP0T(181)=PUM10(8)*EPU1(8)
      VP0T(182)=UM10(8)*EU1(8)
      VP0T(183)=U10(8)*EU1(8)
      VP0T(184)=AM20(8)*EA2(8)
      VP0T(185)=DE10/2.
      VP0T(186)=PU10(8)*EPU1(8)
      VP0T(187)=KU(6)*D(6)*EU2(5)/(D2(6)*EU1(6))
      VP0T(188)=KPU(6)*D(6)*EPU2(5)/(D2(6)*EPU1(6))
      VP0T(189)=C0R
      VP0T(190)=C0R
      VP0T(191)=D2(8)/1000.
      VP0T(192)=.01*D10(14)
```

```
      VP8T(193)=.001*D10(14)
      VP8T(194)=.1000
      VP8T(195)=.2000
      VP8T(196)=.2000
      VP8T(197)=.1000
      VP8T(198)=.005*D(8)
      VP8T(199)=.01*D(14)
      VP8T(200)=.2000
      VP8T(201)=.1000
      VP8T(202)=DELD8/200.
      VP8T(203)=.1000
      VP8T(204)=.2000
      VP8T(205)=DELD14/100.
      VP8T(206)=.0800
      VP8T(207)=.3200
      VP8T(208)=.2503
      VP8T(209)=.8000
      VP8T(210)=.3530
      VP8T(211)=.0382
      VP8T(212)=.0382
      VP8T(213)=.0100
C
      D8 135 J=1,213,8
      K=J
  135 PRINT134,(AP8T(I),VP8T(I),I=K,K+7)
  134 FORMAT(1X,8(A4,1H=,F7.4,3X))
C   AFFICHAGE DES POTENTIOMETRES
C
C     MISE EN MODE PS
      CALL QPS0(1,IERR3)
      IF (IERR3-1) 20,20,21
   21 PRINT 140,IERR3
  140 FORMAT(1X,4HQPS0,6HIERR3=I1)
   20 D8 22 I=1,213
      ANADR=AP8T(I)
      C8EFF=VP8T(I)
      CALL Q8TPT0(1,ANADR,C8EFF,IERR1)
      IF(IERR1-1) 22,22,25
   25 CALL QRDALO(1,ANADR,VALUE,IERR2)
      IF(IERR2-1) 26,26,27
   27 PRINT 141,IERR2
  141 FORMAT(1X,6HQRDALO,6HIERR2=I1)
   26 PRINT 142,IERR1,ANADR,C8EFF,VALUE
  142 FORMAT(1X,6HIERR1=I1,1H,A4,2(3X,F6.4))
   22 C8NTINUE
      PRINT 1020
      TYPE 1020
 1020 FORMAT (1X,26HVERIFIER LE LISTING DES P8TS)
      TYPE 1021
      CALL PAUSE
 1021 FORMAT (1X,70HC14=1 CASPRE,FAIRE+RET+G C14=1 ;RETOUR AU DEBUT ,EXE
     1CUTE SINON EXECUTE)
      IF (C(14)) G8 T8 1
      D8 501 I=1,3
  501 AM20(I)=N8(I)*EA1(I)*AM10(I)*10./EA2(I)
      D8 502 I=4,5
  502 AM20(I)=(NC(I)+ND(I)*EA1(I)*AM10(I))/EA2(I)
      I=1
      SAM(I)=(EA1(I)*AM10(I)+IA(I)*EA2(I)*AM20(I))/FA(I)
      DSAM(I)=-NA(I)*SAM(I)+NA1(I)*EA1(I+1)*A10(I+1)
      D8 500 I=2,5
      SAM(I)=(EA1(I)*AM10(I)+IA(I)*EA2(I)*AM20(I))/FA(I)
  500 DSAM(I)=-NA(I)*SAM(I)+NA1(I)*EA1(I+1)*A10(I+1)+NA2(I)*EA2(I-1)*A20
     1(I-1)
      I=6
  506 SAM(I)=(EA1(I)*AM10(I)+IA(I)*EA2(I)*AM20(I))/FA(I)
      DSAM(I)=-JA(I)*SAM(I)+LA(I)*EA1(I+1)*A10(I+1)+KA(I)*EA2(I-1)*A20(I
     1-1)+MA(I)+MAA(I)
      DA1(I)=N(I)*(EA1(I)*AM10(I)-EA1(I)*A10(I))
      DA2(I)=N(I)*(EA2(I)*AM20(I)-EA2(I)*A20(I))
      IF (I-8)503,504,503
  504 I=13
  503 IF(I.GE.14) G8 T8 505
      I=I+1
      G8 T8 506
  505 I=6
  509 SUM(I)=(EU1(I)*UM10(I)+IU(I)*EU2(I)*UM20(I))/FU(I)
      PSUM(I)=(EPU1(I)*PUM10(I)+IPU(I)*EPU2(I)*PUM20(I))/FPU(I)
      DSUM(I)=-JU(I)*SUM(I)+LU(I)*EU1(I+1)*U10(I+1)+KU(I)*EU2(I-1)*U20(I
     1-1)+MU(I)
      DPSUM(I)=-JPU(I)*PSUM(I)+LPU(I)*EPU1(I+1)*PU10(I+1)+KPU(I)*EPU2(I-
     11)*PU20(I-1)+MPU(I)
      DU1(I)=N(I)*(EU1(I)*UM10(I)-EU1(I)*U10(I))
      DPU1(I)=N(I)*(EPU1(I)*PUM10(I)-EPU1(I)*PU10(I))
      DU2(I)=N(I)*(EU2(I)*UM20(I)-EU2(I)*U20(I))
      DPU2(I)=N(I)*(EPU2(I)*PUM20(I)-EPU2(I)*PU20(I))
      IF(I-8) 507,508,507
  508 I=13
  507 IF(I.GE.14) G8 T8 510
      I=I+1
      G8 T8 509
C  MISE EN STATIC TEST
  510 CALL QSTSTO(1,IERR4)
      IF(IERR4-1) 50,50,51
   51 PRINT 150,IERR4
  150 FORMAT(1H ,6HQSTSTO,9H IERR4 = I1/)
```

```
   50 CONTINUE
      PRINT 1000
      TYPE 1000
 1000 FORMAT(1X,51H ATTENDRE 5SEC POUR STABILISATION ET APPUYER SUR F8)
      PAUSE
      TDA(1)=UM10(6)*EU1(6)
      TDA(2)=UM10(7)*EU1(7)
      TDA(3)=UM10(8)*EU1(8)
      TDA(4)=UM10(9)*EU1(9)
      TDA(5)=UM20(13)*EU2(13)
      TDA(6)=UM10(14)*EU1(14)
      TDA(7)=PUM10(6)*EPU1(6)
      TDA(8)=PUM10(7)*EPU1(7)
      TDA(9)=PUM10(8)*EPU1(8)
      TDA(10)=PUM10(9)*EPU1(9)
      TDA(11)=PUM20(13)*EPU2(13)
      TDA(12)=PUM10(14)*EPU1(14)
      TDA(13)=AM20(6)*EA2(6)
      TDA(14)=AM20(7)*EA2(7)
      TDA(15)=AM20(8)*EA2(8)
      TDA(16)=AM10(9)*EA1(9)
      TDA(17)=AM20(14)*EA2(14)
      TDA(18)=AM20(13)*EA2(13)
      PRINT 52,TDA
   52 FORMAT (1H ,10F11.4/)
      CALL QDAJM0(0,18,TDA,IERR5,JCHAN)
      IF (IERR5-1) 53,53,54
   54 PRINT 151,IERR5,JCHAN
  151 FORMAT(1H ,6HQDAJM0,3X,7HIERR5= I1,8HJCHAN = I2/)
   53 PRINT 55,ADST
   55 FORMAT (8A4)
      I=1
      J=1
   82 VAST(J)=-DSAM(I)
      J=J+1
      IF (I-8) 80,81,80
   81 I=13
   80 IF (I.GE.14) GO TO 83
      I=I+1
      GO TO 82
   83 J=10
      DO 84 I=1,3
      VAST(J)=EA2(I)*AM20(I)
      J=J+1
   84 CONTINUE
      J=13
      DO 85 I=4,5
      VAST(J)=EA2(I)*AM20(I)
      J=J+1
   85 CONTINUE
      J=15
      I=6
      VAST(J)=DA1(I)
      VAST(J+1)=-DA2(I)
      VAST(J+2)=-DSUM(I)
      VAST(J+3)=-DPSUM(I)
      VAST(J+4)=-DU2(I)
      VAST(J+5)=-DPU2(I)
      J=21
      I=7
   86 VAST(J)=DA1(I)
      VAST(J+1)=-DA2(I)
      VAST(J+2)=-DSUM(I)
      VAST(J+3)=-DPSUM(I)
      VAST(J+4)=DU1(I)
      VAST(J+5)=DPU1(I)
      VAST(J+6)=-DU2(I)
      VAST(J+7)=-DPU2(I)
      J=J+8
      IF (I-8) 86,87,86
   87 I=13
   88 IF(I.GE.14) GO TO 89
      I=I+1
      GO TO 88
   89 VAST(45)=-DD1S6
      VAST(46)=DD1S14
      VAST(47)=-FE
      VAST(48)=-FE1
      DO 56 I=1,48
      ANAD=ADST(I)
      CALL QRDALO(1,ANAD,VAL,IERR6)
      IF (IERR6-1) 60,60,61
   61 PRINT 62,IERR6
   62 FORMAT(1H ,6HQRDALO,3X,7HIERR6= I1/)
   60 CONTINUE
      VCAL=VAST(I)
      ERROR=VAL-VAST(I)/10
      PRINT 63 ,ANAD,VAL,VCAL,ERROR
   63 FORMAT (1X,A4,10X,8HV.LUE = F8.4,10X,8HV.CAL = F8.4,10X,8HERROR =
     1F8.4/)
   56 CONTINUE
      PRINT 1022
      TYPE 1022
 1022 FORMAT (1X,23HVERIFIER LE STATIC-TEST)
      TYPE 1023
      CALL PAUSE

 1023 FORMAT (1X,70HC14=1 CASPRE,FAIRE+RET+G C14=1 !RETOUR AU DEBUT ,EXE
     1CUTE SINON EXECUTE)
      IF (C(14)) GO TO 1
       LDC     =0
      RETURN
      END
```

```
                  00000 N      1   SED     REL
                  00033 N      2           ENTRY   ISED
                  00000 N      3           EXTERN  E
                               4   *
    00000   00000    0000 L     5           PZE     **
    00001   00023 1 3446 L     6           XST     SAV1,1
    00002   00024 2 3446 L     7           XST     SAV2,2
    00003   00025 3 3446 L     8           XST     SAV3,3
    00004   00026 4 3446 L     9           XST     SAV4,4
    00005   00027 5 3446 L    10           XST     SAV5,5
    00006   00030 6 3446 L    11           XST     SAV6,6
    00007   00031 7 3446 L    12           XST     SAV7,7
                              13   *
    00010   00011    0205 L    14           JS1     *+1
    00011   00012    0226 L    15           JR2     *+1
    00012   00013    0246 L    16           JR3     *+1
    00013   00014    0266 L    17           JR4     *+1
    00014   00015    0306 L    18           JR5     *+1
    00015   00016    0326 L    19           JR6     *+1
    00016   00017    0346 L    20           JR7     *+1
    00017   00020    0366 L    21           JR8     *+1
Y   00020  170000    0626 N    22           LDC     =*-70000            C0,1,2,3=1
    00021   00000    0007 L    23           J       E
Y   00022   00000    0626 N    24   RETOUR  LDC     =0
    00023   00000 1 3402 N    25   SAV1    XCA     =...1
    00024   00000 2 3402 N    26   SAV2    XCA     =...2
    00025   00000 3 3402 N    27   SAV3    XCA     =...3
    00026   00000 4 3402 N    28   SAV4    XCA     =...4
    00027   00000 5 3402 N    29   SAV5    XCA     =...5
    00030   00000 6 3402 N    30   SAV6    XCA     =...6
7   00031   00000 7 3402 N    31   SAV7    XCA     =...7
    00032   00000    0662 L    32           LDL     SED
                              33   *
    00033   00000    0000 L    34   ISED    PZE     **
    00034   00000    3602 L    35           CA      =E
    00035   00026    3603 N    36           AD      =*26
    00036   00044    3646 L    37           ST      ADR
    00037   00007    3602 N    38           CA      =7
    00040   00044*   3706 L    39           ST*     /ADR
    00041   00022    3602 L    40           CA      =RETOUR
    00042   00044*   3646 L    41           ST*     ADR
    00043   00033    0662 L    42           LDL     ISED
    00044  +00000/+00000 N     43   ADR
                    00000 N    44           END
```

```
                  00000 N      1   PAUSE   REL
                  00000 N      2           EXTERN  CASPRE
    00000   00000    0000 L     3           PZE     **
    00001   00002    0000 L     4           HJ      *+1                 ARRET-DEPART PAR *EXECUTE*
    00002   00006    0646 L     5           STC     CONSOL
    00003   00006    7275 L     6           MHM1    CONSOL,,14
    00004   00000    0037 L     7           JNZ     CASPRE
    00005   00000    0662 L     8   RET     LDL     PAUSE
    00006  +00000/+00000 N     9   CONSOL
                    00000 N    10           END
```

```
                00000 N      1   ROUYER REL
                             2   *SIMULATION HYBRIDE D'UN PROBLEME D'EXTRACTION D'URANIUM
                             3   *
                             4   *NUMERO DE CLASSIFICATION =HC4
                             5   *
                             6   *LABORATOIRE DE CALCUL ANALOGIQUE ET HYBRIDE
                             7   *
                             8   *SACLAY,AVRIL 1971
                             9   *
                            10   *G.CHAZAL
                            11   *
                            12   *CEPROBLEME EST RESOLU A L'AIDE DU PROGRAMME SEDORI
                            13   ********************************************************************************
                            14          PMC     SYMBOLIC
                            15   DEC    MACRO   X,Y
                            16          FCA     X!M!Y+3,3
                            17          FSB     X!Y,4
                            18          FMP     DP!Y
                            19          FMP     F5
                            20          FDV     V!Y
                            21          FST     D!X!Y,3
                            22          ENDM    DEC
                            23   *
                            24          ENTRY   NBVARD,HYBTIM,ALGORI,(
                            25                  RETIC,RETHLD,TEMPS,(
                            26                  DELTAT,TPSCI,TFINAL,(
                            27                  TOP,DT,ECHTPS,RYTIMP,(
                            28                  DEPIMP,IMP,CNADO,(
                            29                  NBCAD,PRMCAD,CNDAO,(
                            30                  NBCDA,PRMCDA,DUMPUS,(
                            31                  ICUS,EQLIC,STKICU,(
01746  +00000/+00000 N      32                  CALCEV,DERIV,EXNUM
                            33   *
             00000 N        34          EXTERN  A,S
             00000 N        35          EXTERN  CASPRE
                            36   *
                            37   *
00000  00000   0007 L       38   RETIC  J       A                    POINT DE RETOUR DE NINTG EN IC
00001  00007   0007 L       39   RETHLD J       S                    POINT DE RETOUR DE NINTG ENHOLD
                            40   *
                            41   ********************************
                            42   *                              /
                            43   *DONNEES GENERALES DU PROBLEME
                            44   *
                            45   *
00002  +50000/+00007 N      46   DT     DATA    80.
00003  +40000/+00001 N      47   ECHTPS DATA    1.
00004  +10000/+00177 N      48   TFINAL DATA    °10000/°177
00005  +00055/+00000 N      49   NBVARD DATA    45/
00006  +00001/+00001 N      50   HYBTIM DATA    1/1                  HYBTIM/ DIFFERE DE 0 SI CALCUL HYBRIDE
                            51   *                                   /HYBTIM DIFFERE DE 0 SI EMPLOI DU TIMER
00007   00000   0016 N      52   ALGORI ARG     EULER,,SPCMNT        NOS CORRESPONDANT A L,ALGOR, CHOISI
             00000 N        53   EULER  EQU     0                    ET A L,ESPACE MINI REQIUS
             00016 N        54   SPCMNT EQU     14                    POUR L'ALGORITHME CHOISIE
                            55   *
                            56   *
             00011 N        57   NBET   EQU     9                    NB D'ETAGES
             00005 N        58   NBE    EQU     5
                            59   *
                            60   *LISTE DES COEFFICIENTS
                            61   *
00010  +42327/+17771 N      62   YUM10  DATA    .420168E-2
00011  +40000/+00001 N      63   B4     DATA    1.                   EQUATIONS D'EQUILIBRE ET CORRECTIONS
00012  -33357/-35402 N      64   C20    DATA    -2,283236
00013  -33357/-35402 N      65          DATA    -2,283236
00014  -32267/+77002 N      66          DATA    -2,352601
00015  -23313/+63003 N      67          DATA    -5,575342
00016  -23313/+63003 N      68          DATA    -5,575342
00017  -23313/+63003 N      69          DATA    -5,575342
00020  -23313/+63003 N      70          DATA    -5,575342
00021  -23313/+63003 N      71          DATA    -5,575342
00022  -23313/+63003 N      72          DATA    -5,575342
00023  +71463/+31402 N      73   C3     DATA    3,6
00024  +46375/-71401 N      74   C4     DATA    1,203
00025  +40000/+00002 N      75   D16    DATA    2,
00026  +40020/+61001 N      76   D18    DATA    1,001
00027  +64426/-03400 N      77   D19    DATA    0,821
00030  +50753/-02777 N      78   D20    DATA    0,32
00031  +40611/+33774 N      79   D21    DATA    0,032
00032  +63146/+63373 N      80   D22    DATA    0,025
00033  +64333/-05763 N      81   ZETA   DATA    0,0001
00034  +50753/-02772 N      82   F4     DATA    0,01
00035  +75341/+43773 N      83   F5     DATA    0,03
                            84   *
                            85   *
                            86   *TABLE DES CONDITIONS INITIALES PERMANENTES
                            87   *
00036  +00000/+00000 N      88   TOP    DATA    0,0
00037  +00000/+00000 N      89   SUMOP  BSS     5,0
00044  +00000/+00000 N      90   SAMOP  BSS     5,0
00051  +00000/+00000 N      91   PSUMOP BSS     5,0
             00056 N        92   U1OP   BSS     5
             00063 N        93   U2OP   BSS     5
             00070 N        94   PU1OP  BSS     5
             00075 N        95   PU2OP  BSS     5
             00102 N        96   A1OP   BSS     5
```

```
                00107 N     97   A2OP    BSS      5
00114   +00000/+00000 N     98   UM2KO            0.
00115   +00000/+00000 N     99                    0.
00116   +00000/+00000 N    100                    0.
00117   +00000/+00000 N    101                    0.
00120   +00000/+00000 N    102                    0.
00121   +00000/+00000 N    103                    0.
00122   +00000/+00000 N    104                    0.
00123   +00000/+00000 N    105                    0.
00124   +00000/+00000 N    106                    0.
00125   +00000/+00000 N    107   ATEMPO  DATA     0.
                           108   *
                00000 N    109         COMMON
00000                 N    110         BSS      8
00010                 N    111   SUMOC   BSS      5
00015                 N    112         BSS      9
00026                 N    113   SAMOC   BSS      5
00033                 N    114         BSS      9
00044                 N    115   PSUMOC  BSS      5
00051                 N    116         BSS      9
00062                 N    117   U1OC    BSS      5
00067                 N    118         BSS      9
00100                 N    119   U2OC    BSS      5
00105                 N    120         BSS      9
00116                 N    121   PU1OC   BSS      5
00123                 N    122         BSS      9
00134                 N    123   PU2OC   BSS      5
00141                 N    124         BSS      9
00152                 N    125   A1OC    BSS      5
00157                 N    126         BSS      9
00170                 N    127   A2OC    BSS      5
00175                 N    128         BSS      1
00176                 N    129         BSS      5
00203                 N    130   UM1OP   BSS      9
00214                 N    131         BSS      5
00221                 N    132   UM2OP   BSS      9
00232                 N    133         BSS      5
00237                 N    134   PUM1OP  BSS      9
00250                 N    135         BSS      5
00255                 N    136   PUM2OP  BSS      9
00266                 N    137         BSS      5
00273                 N    138   AM1OP   BSS      9
00304                 N    139         BSS      5
00311                 N    140   AM2OP   BSS      9
00322                 N    141         BSS      8
00332                 N    142   DSUM    BSS      5
00337                 N    143         BSS      9
00350                 N    144   DSAM    BSS      5
00355                 N    145         BSS      9
00366                 N    146   DPSUM   BSS      5
00373                 N    147         BSS      9
00404                 N    148   DU1     BSS      5
00411                 N    149         BSS      9
00422                 N    150   DA1     BSS      5
00427                 N    151         BSS      9
00440                 N    152   DU2     BSS      5
00445                 N    153         BSS      9
00456                 N    154   DA2     BSS      5
00463                 N    155         BSS      9
00474                 N    156   DPU1    BSS      5
00501                 N    157         BSS      9
00512                 N    158   DPU2    BSS      5
00517                 N    159         BSS      1
00126               0 N    160         RESUME
                           161   *
                           162   *
                           163   *TABLE DES VARIABLES D'ETAT INTEGRABLES
                           164   *
00126   +00000/+00000 N    165   TEMPS   BSS      1,0
00127     01416   0000 L    166           ARG      DELTAT
00130   +00000/+00000 N    167           BSS      SPCMNT=2,0
00144   +00000/+00000 N    168   SUM     BSS      NBE*SPCMNT,0,
00252   +00000/+00000 N    169   SAM     BSS      NBE*SPCMNT,0,
00360   +00000/+00000 N    170   PSUM    BSS      NBE*SPCMNT,0,
00466   +00000/+00000 N    171   U1      BSS      NBE*SPCMNT,0,
00574   +00000/+00000 N    172   U2      BSS      NBE*SPCMNT,0,
00702   +00000/+00000 N    173   PU1     BSS      NBE*SPCMNT,0,
01010   +00000/+00000 N    174   PU2     BSS      NBE*SPCMNT,0,
01116   +00000/+00000 N    175   A1      BSS      NBE*SPCMNT,0,
01224   +00000/+00000 N    176   A2      BSS      NBE*SPCMNT,0,
                           177   *LA SEQUENCEARGDER COMPLETE LES TABLES DE VARIABLES A INTEGRER AVEC
                           178   * L'ADRESSE DE LEURS DERIVEES
                           179   * ELLE EST EXECUTEE SOUS CONTROLE DU CASPRE AVANT SAUVEGARDE SUR
                           180   * BANDE DU PROGRAMME CHARGE
01332   00004 2 3402 N     181   ARGDER XCA      =NBE-1,2
01333   00001 3 3402 N     182          XCA      =1,3
01334   00000 4 3402 N     183          XCA      =0,4
01335   00332 4 3602 N     184   DER1   CA       =DSUM,4
01336   00144 3 3646 L     185          ST       SUM,3
01337   00350 4 3602 N     186          CA       =DSAM,4
01340   00252 3 3646 L     187          ST       SAM,3
01341   00366 4 3602 N     188          CA       =DPSUM,4
01342   00360 3 3646 L     189          ST       PSUM,3
01343   00404 4 3602 N     190          CA       =DU1,4
01344   00466 3 3646 L     191          ST       U1,3
01345   00440 4 3602 N     192          CA       =DU2,4
```

```
01346   00574 3 3646 L   193          ST      U2,3
01347   00422 4 3602 N   194          CA      =DA1,4
01350   01116 3 3646 L   195          ST      A1,3
01351   00456 4 3602 N   196          CA      =DA2,4
01352   01224 3 3646 L   197          ST      A2,3
01353   00474 4 3602 N   198          CA      =DPU1,4
01354   00702 3 3646 L   199          ST      PU1,3
01355   00512 4 3602 N   200          CA      =DPU2,4
01356   01010 3 3646 L   201          ST      PU2,3
01357   00016 3 3403 N   202          XAD     =SPCMNT,3
01360   00001 4 3403 N   203          XAD     =1,4
01361   01335 2 1777 L   204          XJT     DER1,2,-1
01362   00003   3602 L   205          CA      =CASPRE
01363   00002 1 0007 N   206          J       2,1
                         207   *
                         208   *TABLE DES VARIABLES D'ETAT ALGEBRIQUES
                         209   *
              01364 N    210   YUM2   BSS     12
              01400 N    211   ZUM10  BSS     12
              01414 N    212   UP1    BSS     1
              01415 N    213   S0     BSS     1
              00000 N    214          COMMON  UN
00000               N    215   UM22   BSS     12
00014               N    216   UM21   BSS     12
00030               N    217   UM2K   BSS     12
00044               N    218   ORDMUC BSS     12
00060               N    219   ORDPUC BSS     12
00074               N    220   ORDQUC BSS     12
00110               N    221   DLTU2C BSS     12
00124               N    222   DIVDUC BSS     12
00140               N    223   AM22   BSS     12
00154               N    224   AM21   BSS     12
00170               N    225   ORDMA  BSS     12
00204               N    226   ORDNA  BSS     12
00220               N    227   ORDQA  BSS     12
00234               N    228   DLTA2  BSS     12
00250               N    229   DIVDA  BSS     12
00264               N    230   PROS   BSS     1
00265               N    231   PRU    BSS     1
00266               N    232   DE1    BSS     12
00302               N    233   DE2    BSS     12
00316               N    234   TY     BSS     500
01302               N    235          BSS     1
01303               N    236   TX     BSS     1
01304               N    237   TU     BSS     500
02270               N    238          BSS     1
02271               N    239   TZ     BSS     1
02272               N    240   ATEMPS BSS     12
01416             0 N    241          RESUME
                         242   *
              00000 N    243          COMMON  UNPRIME
00000               N    244          BSS     5
00005               N    245   UM1    BSS     14
00023               N    246   UM2    BSS     14
00041               N    247   PUM1   BSS     14
00057               N    248   PUM2   BSS     14
00075               N    249   AM1    BSS     14
00113               N    250   AM2    BSS     9
                         251   *
              00000 N    252          COMMON  DEUX
00000               N    253          BSS     8
00010               N    254   H1     BSS     14
00026               N    255   HP1    BSS     14
00044               N    256   V1     BSS     14
00062               N    257   V2     BSS     6
01416             0 N    258          RESUME
                         259   *
              00000 N    260          COMMON  TROIS
00000               N    261          BSS     8
00010               N    262   U1C    BSS     5
00015               N    263   U14    BSS     1
00016               N    264          BSS     7
00025               N    265   U2B    BSS     1
00026               N    266   U2C    BSS     5
00033               N    267          BSS     9
00044               N    268   PU1C   BSS     5
00051               N    269   PU14   BSS     1
00052               N    270          BSS     7
00061               N    271   PU2B   BSS     1
00062               N    272   PU2C   BSS     5
00067               N    273          BSS     9
00100               N    274   A1C    BSS     5
00105               N    275   A14    BSS     1
00106               N    276          BSS     7
00115               N    277   A2B    BSS     1
00116               N    278   A2C    BSS     5
00123               N    279          BSS     1
01416             0 N    280          RESUME
                         281   *
              00000 N    282          COMMON  DEBIT
00000               N    283          BSS     7
00007               N    284   DP1    BSS     7
00016               N    285          BSS     7
00025               N    286   DP2    BSS     7
01416             0 N    287          RESUME
                         288   *TABLE DES DERIVEES DES VARIABLES D'ETAT INTEGRABLES
```

```
                                  289   *
01416  +00000/+00000 N            290   DELTAT BSS     2.0
                                  291   *
                                  292   *
                                  293   *TABLE DES CONDITIONS INITIALES TEMPORAIRES OU D'EQUILIBRE
                                  294   *
01420  +00000/+00000 N            295   TPSCI  BSS     1.0
                                  296   *
                                  297   *TABLE DEFINISSANT LES SORTIES ANALOGIQUES
                                  298   *
01421   00023   0000 N            299   CNAD0  ARG     UM2
01422  +00000/+00000 N            300                  0
01423  +40000/+00000 N            301          DATA    .5
01424   00024   0000 N            302   CNAD1  ARG     UM2+1
01425  +00000/+00000 N            303                  0
01426  +40000/+00002 N            304          DATA    2.
01427   00025   0000 N            305   CNAD2  ARG     UM2+2
01430  +00000/+00000 N            306                  0
01431  +40000/+00002 N            307          DATA    2.
01432   00025   0000 N            308   CNAD3  ARG     U28
01433  +00000/+00000 N            309                  0
01434  +40000/+00002 N            310          DATA    2.
01435   00033   0000 N            311   CNAD4  ARG     UM2+8
01436  +00000/+00000 N            312                  0
01437  +40000/+00001 N            313          DATA    1.
01440   00057   0000 N            314   CNAD5  ARG     PUM2
01441  +00000/+00000 N            315                  0
01442  +50000/+00004 N            316          DATA    10.
01443   00060   0000 N            317   CNAD6  ARG     PUM2+1
01444  +00000/+00000 N            318                  0.
01445  +50000/+00004 N            319          DATA    10.
01446   00061   0000 N            320   CNAD7  ARG     PUM2+2
01447  +00000/+00000 N            321                  0
01450  +50000/+00004 N            322          DATA    10.
01451   00061   0000 N            323   CNAD8  ARG     PU28
01452  +00000/+00000 N            324                  0
01453  +50000/+00004 N            325          DATA    10.
01454   00067   0000 N            326   CNAD9  ARG     PUM2+8
01455  +00000/+00000 N            327                  0.
01456  +50000/+00004 N            328          DATA    10.
01457   00075   0000 N            329   CNAD10 ARG     AM1
01460  +00000/+00000 N            330                  0
01461  +50000/+00004 N            331          DATA    10.
01462   00076   0000 N            332   CNAD11 ARG     AM1+1
01463  +00000/+00000 N            333                  0
01464  +50000/+00004 N            334          DATA    10.
01465   00077   0000 N            335   CNAD12 ARG     AM1+2
01466  +00000/+00000 N            336                  0
01467  +50000/+00004 N            337          DATA    10.
01470   00115   0000 N            338   CNAD13 ARG     A28
01471  +00000/+00000 N            339                  0
01472  +40000/+00002 N            340          DATA    2.
01473   00105   0000 N            341   CNAD14 ARG     AM1+8
01474  +00000/+00000 N            342                  0
01475  +50000/+00003 N            343          DATA    5.
01476   00105   0000 N            344   CNAD15 ARG     A14
01477  +00000/+00000 N            345                  0
01500  +50000/+00003 N            346          DATA    5.
01501   00015   0000 N            347   CNAD16 ARG     U14
01502  +00000/+00000 N            348                  0
01503  +40000/+00001 N            349          DATA    1.
01504   00051   0000 N            350   CNAD17 ARG     PU14
01505  +00000/+00000 N            351                  0
01506  +50000/+00003 N            352          DATA    5.
01507   02272   0000 N            353   CNAD18 ARG     ATEMPS
01510  +00000/+00000 N            354                  0
01511  +40000/+00001 N            355          DATA    1.
                                  356   *
01512  +00023/+00000 N            357   NBCAD  DATA    19/0
01513  +00000/+00000 N            358   PRMCAD DATA    0/0
                                  359   *
                                  360   *TABLE DEFINISSANT LES SORTIES NUMERIQUES
                                  361   *
01514   00005   0000 N            362   CNDA0  ARG     UM1
01515  +00000/+00000 N            363                  0
01516  +40000/+00000 N            364          DATA    .5
01517   00006   0000 N            365   CNDA1  ARG     UM1+1
01520  +00000/+00000 N            366                  0
01521  +40000/+00002 N            367          DATA    2.
01522   00007   0000 N            368   CNDA2  ARG     UM1+2
01523  +00000/+00000 N            369                  0
01524  +40000/+00003 N            370          DATA    4.
01525   00466   0000 L            371   CNDA3  ARG     U1
01526  +00000/+00000 N            372                  0
01527  +40000/+00001 N            373          DATA    1.
01530   00664   0000 L            374   CNDA4  ARG     4*SPCMNT+U2
01531  +00000/+00000 N            375                  0
01532  +40000/+00001 N            376          DATA    1.
01533   00015   0000 N            377   CNDA5  ARG     UM1+8
01534  +00000/+00000 N            378                  0
01535  +40000/+00001 N            379          DATA    1.
01536   00041   0000 N            380   CNDA6  ARG     PUM1
01537  +00000/+00000 N            381                  0
01540  +50000/+00004 N            382          DATA    10.
01541   00042   0000 N            383   CNDA7  ARG     PUM1+1
01542  +00000/+00000 N            384                  0
```

```
01543  +50000/+00004 N   385          DATA    10.
01544   00043   0000 N   386  CNDA8   ARG     PUM1+2
01545  +00000/+00000 N   387          DATA    0
01546  +50000/+00005 N   388          DATA    20.
01547   00702   0000 L   389  CNDA9   ARG     PU1
01550  +00000/+00000 N   390          DATA    0
01551  +50000/+00005 N   391          DATA    20.
01552   01100   0000 L   392  CNDA10  ARG     4*SPCMNT+PU2
01553  +00000/+00000 N   393          DATA    0
01554  +50000/+00004 N   394          DATA    10.
01555   00051   0000 N   395  CNDA11  ARG     PUM1+8
01556  +00000/+00000 N   396          DATA    0
01557  +50000/+00003 N   397          DATA    5.
01560   00113   0000 N   398  CNDA12  ARG     AM2
01561  +00000/+00000 N   399          DATA    0
01562  +40000/+00002 N   400          DATA    2.
01563   00114   0000 N   401  CNDA13  ARG     AM2+1
01564  +00000/+00000 N   402          DATA    0
01565  +40000/+00002 N   403          DATA    2.
01566   00115   0000 N   404  CNDA14  ARG     AM2+2
01567  +00000/+00000 N   405          DATA    0
01570  +40000/+00002 N   406          DATA    2.
01571   01116   0000 L   407  CNDA15  ARG     A1
01572  +00000/+00000 N   408          DATA    0
01573  +50000/+00003 N   409          DATA    5.
01574   00123   0000 N   410  CNDA16  ARG     AM2+8
01575  +00000/+00000 N   411          DATA    0
01576  +40000/+00001 N   412          DATA    1.
01577   01314   0000 L   413  CNDA17  ARG     4*SPCMNT+A2
01600  +00000/+00000 N   414          DATA    0
01601  +40000/+00001 N   415          DATA    1.
                         416  *
01602  +00022/+00000 N   417  NBCDA   DATA    18/0
01603  +00000/+00000 N   418  PRMCDA  DATA    0/0
                         419  *
                         420  **************
                         421  *
                         422  *
                         423  *PARAMETRES D'IMPRESSION POUR DUMP
                         424  *
                         425  *
01604  +00000/+00000 N   426  DEPIMP  DATA    0.0 EEO              INSTANT DE LA PREMIERE IMPRESSION
01605  +00000/+00351 N   426
                         427  *                                    EN DOUBLE PRECISION
01606  +43120/+00020 N   428  RYTIMP          36000.
                         429  *
                         430  *
                         431  *
                         432  *IMP DEFINIT LA SEQUENCE D'APPEL DU SOUS PROGRAMME D'IMPRESSION,IMPRIM,
                         433  *ECRIT EN FORTRAN
                         434  *
                         435  *
01607   00000   0000 L   436  IMP     PZE     **
01610   01612 6 3402 L   437          XCA     =**+2,6
01611   00006   0002 L   438          LINK    IMPRIM
01612   00126   0000 L   439          ARG     TEMPS
01613   00005   0000 N   440          ARG     UM1
01614   00023   0000 N   441          ARG     UM2
01615   00075   0000 N   442          ARG     AM1
01616   00113   0000 N   443          ARG     AM2
01617   00041   0000 N   444          ARG     PUM1
01620   00057   0000 N   445          ARG     PUM2
01621   00266   0000 N   446          ARG     DE1
01622   00302   0000 N   447          ARG     DE2
01623   01607   0662 L   448          LDL     IMP
                         449  *
                         450  *DUMPUS FAIT DES CALCULS UNIQUEMENT POUR L'IMPRESSION DES RESULTATS
                         451  *
                         452  *
01624   00000   0000 L   453  DUMPUS  PZE     **
01625   01624   0662 L   454          LDL     DUMPUS
                         455  *
                         456  *ICUS CALCULE LES CONDITIONS INITIALES PROPRES AU PROBLEME
                         457  *
01626   00000   0000 L   458  ICUS    PZE     **
01627   01631 6 3402 L   459          XCA     =**+2,6
01630   00002   0002 L   460          LINK    PROG
01631   00316   0000 N   461          ARG     TY
01632   01634 6 3402 L   462          XCA     =**+2,6
01633   00005   0002 L   463          LINK    PRO
01634   01304   0000 N   464          ARG     TU
01635   00205   2002 N   465          FCA     UM10P+2
01636   02441   2005 L   466          FMP     =0,9
01637   01414   2006 L   467          FST     UP1
01640   01740   0347 L   468          J7      CITE
01641   00011 2 3401 N   469          XCS     =9,2
01642   00214 2 2002 N   470  NIC     FCA     UM10P+9,2
01643   00016 2 2006 N   471          FST     UM1+9,2
01644   00232 2 2002 N   472          FCA     UM20P+9,2
01645   00034 2 2006 N   473          FST     UM2+9,2
01646   00011 2 2006 N   474          FST     UM22+9,2
01647   00025 2 2006 N   475          FST     UM21+9,2
01650   00055 2 2006 N   476          FST     ORDMUC+9,2
01651   00071 2 2006 N   477          FST     ORDPUC+9,2
01652   00105 2 2006 N   478          FST     ORDQUC+9,2
01653   00125 2 2002 L   479          FCA     UM2K0+9,2
```

```
01654   00041 2 2006 N   480          FST     UM2K+9,2
01655   00250 2 2002 N   481          FCA     PUM10P+9,2
01656   00052 2 2006 N   482          FST     PUM1+9,2
01657   00266 2 2002 N   483          FCA     PUM20P+9,2
01660   00070 2 2006 N   484          FST     PUM2+9,2
01661   00304 2 2002 N   485          FCA     AM10P+9,2
01662   00106 2 2006 N   486          FST     AM1+9,2
01663   00322 2 2002 N   487          FCA     AM20P+9,2
01664   00124 2 2006 N   488          FST     AM2+9,2
01665   00151 2 2006 N   489          FST     AM22+9,2
01666   00165 2 2006 N   490          FST     AM21+9,2
01667   00201 2 2006 N   491          FST     BRDMA+9,2
01670   00215 2 2006 N   492          FST     BRDNA+9,2
01671   00231 2 2006 N   493          FST     BRDQA+9,2
01672   01642 2 1401 L   494          XJT     NIC,2,1
01673   00004 2 3402 N   495          XCA     =4,2
01674   00062 2 2002 N   496   L00P   FCA     U10C,2
01675   00056 2 2006 L   497          FST     U10P,2
01676   00100 2 2002 N   498          FCA     U20C,2
01677   00063 2 2006 L   499          FST     U20P,2
01700   00116 2 2002 N   500          FCA     PU10C,2
01701   00070 2 2006 L   501          FST     PU10P,2
01702   00134 2 2002 N   502          FCA     PU20C,2
01703   00075 2 2006 L   503          FST     PU20P,2
01704   00152 2 2002 N   504          FCA     A10C,2
01705   00102 2 2006 L   505          FST     A10P,2
01706   00170 2 2002 N   506          FCA     A20C,2
01707   00107 2 2006 L   507          FST     A20P,2
01710   01674 2 1777 L   508          XJT     L00P,2,-1
01711   00125   2002 L   509          FCA     ATEMP0
01712   02272   2006 N   510          FST     ATEMP$
01713   01714   0345 L   511          J37     *+1
01714   00005 2 3401 N   512   GIL    XCS     =5,2
01715   00213 2 2002 N   513          FCA     UM10P+8,2
01716   00231 2 2022 N   514          $FCA    UM20P+8,2
01717   00026   2005 N   515          FMP     HP1
01720   00010   2010 N   516          FDV     H1
01721   00001   2003 N   517          FAD     $
01722   00044 2 2006 L   518          FST     SUM0P+5,2
01723   00303 2 2002 N   519          FCA     AM10P+8,2
01724   00321 2 2022 N   520          $FCA    AM20P+8,2
01725   00026   2005 N   521          FMP     HP1
01726   00010   2010 N   522          FDV     H1
01727   00001   2003 N   523          FAD     $
01730   00051 2 2006 L   524          FST     $AM0P+5,2
01731   00247 2 2002 N   525          FCA     PUM10P+8,2
01732   00265 2 2022 N   526          $FCA    PUM20P+8,2
01733   00026   2005 N   527          FMP     HP1
01734   00010   2010 N   528          FDV     H1
01735   00001   2003 N   529          FAD     $
01736   00056 2 2006 L   530          FST     PSUM0P+5,2
01737   01715 2 1401 L   531          XJT     GIL+1,2,1
01740   00000   0017 N   532   CITE   N0P
01741   01626   0662 L   533   RETOUR LDL     ICUS
                         534   *
                         535   *EQLIC CALCULE ET CHARGE LES VALEURS D'EQUILIBRE DES VARIAVLES
                         536   *
01742   00000   0000 L   537   EQLIC  PZE     **
01743   01742   0662 L   538          LDL     EQLIC
                         539   *
                         540   *
                         541   *STKICU STOCKE LES VALEURS ACTUELLES DES VARIABLES ANALOGIQUES
                         542   *
01744   00000   0000 L   543   STKICU PZE     **
01745   01744   0662 L   544          LDL     STKICU
                         545   *
                         546   *
                         547   *
                         548   **************
                         549   *EXNUM
                         550   *
01746   00000   0000 L   551   EXNUM  PZE     **
01747   00000 2 3401 N   552          XCS     =0,2
01750   00000   0017 N   553   DEB    N0P
01751   00025   2002 N   554          FCA     DP2
01752   00007   2010 N   555          FDV     DP1
01753   00011   2003 L   556          FAD     B4
01754   01415   2006 L   557          FST     S0
01755   02440   2002 L   558          FCA     =13.
01756   01415   2010 L   559          FDV     S0
01757   00010   2006 N   560          FST     H1
01760   02440   2002 L   561          FCA     =13.
01761   00010   2000 N   562          FSB     H1
01762   00026   2006 N   563          FST     HP1
01763   02442   2002 L   564          FCA     =65.
01764   01415   2010 L   565          FDV     S0
01765   00044   2006 N   566          FST     V1
01766   02442   2002 L   567          FCA     =65.
01767   00044   2000 N   568          FSB     V1
01770   00062   2006 N   569          FST     V2
01771   00003 2 3404 N   570          XCP     =3,2
01772   02021   0067 L   571          JL      DEBUT
01773   00007 2 3404 N   572          XCP     =7,2
01774   02021   0047 L   573          JG      DEBUT
01775   00000 2 3602 N   574          CA      =0,2
01776   00003   3600 N   575          SB      =3
```

```
01777   00016    3605 N   576            MP       =SPCMNT
02000  177761    3100 N   577            EASH     =15
02001   00000 3  3442 N   578            XCA      0,3
02002   00005 2  2001 N   579            FCS      UM1,2
02003   00144 3  2003 L   580            FAD      SUM,3
02004   00010    2005 N   581            FMP      H1
02005   00026    2010 N   582            FDV      HP1
02006   00023 2  2006 N   583            FST      UM2,2
02007   00113 2  2001 N   584            FCS      AM2,2
02010   00026    2005 N   585            FMP      HP1
02011   00010    2010 N   586            FDV      H1
02012   00252 3  2003 L   587            FAD      SAM,3
02013   00075 2  2006 N   588            FST      AM1,2
                         589   *
02014   00041 2  2001 N   590            FCS      PUM1,2
02015   00360 3  2003 L   591            FAD      PSUM,3
02016   00010    2005 N   592            FMP      H1
02017   00026    2010 N   593            FDV      HP1
02020   00057 2  2006 N   594            FST      PUM2,2
                         595   *
02021   00005 2  2002 N   596   DEBUT    FCA      UM1,2
02022   02024    0077 L   597            JNL      SUITEU
02023   02437    2002 L   598            FCA      =0,
02024   00005 2  2006 N   599   SUITEU   FST      UM1,2
02025   00010    2004 L   600            FCP      YUM10
02026   02037    0077 L   601            JNL      SUIT
02027   00010    2002 L   602            FCA      YUM10
02030   00004    0002 L   603            LINK     FUM2C
02031   02033    0077 L   604            JNL      L0W
02032   02437    2002 L   605            FCA      =0,
02033   01364 2  2006 L   606   L0W      FST      YUM2,2
02034   00010    2010 L   607            FDV      YUM10
02035   00005 2  2005 N   608            FMP      UM1,2
02036   02042    0007 L   609            J        SITEU
02037   00004    0002 L   610   SUIT     LINK     FUM2C
02040   02042    0077 L   611            JNL      SITEU
02041   02437    2002 L   612            FCA      =0,
02042   00000 2  2006 N   613   SITEU    FST      UM22,2
02043   00012    0002 L   614            LINK     CUM2
02044   00044 2  2006 N   615            FST      ORDMUC,2
02045   00023 2  2002 N   616            FCA      UM2,2
02046   02050    0077 L   617            JNL      SUITU
02047   02437    2002 L   618            FCA      =0,
02050   00074 2  2006 N   619   SUITU    FST      ORDQUC,2
02051   00044 2  2000 N   620            FSB      ORDMUC,2
02052   00110 2  2006 N   621            FST      DLTU2C,2
02053   02114    0027 L   622            JZ       STU
02054   00110 2  2001 N   623            FCS      DLTU2C,2
02055   00012 2  2005 L   624            FMP      C20,2
02056   00005 2  2003 N   625            FAD      UM1,2
02057   02061    0077 L   626            JNL      F0LL0W
02060   02437    2002 L   627            FCA      =0,
02061   01400 2  2006 L   628   F0LL0W   FST      ZUM10,2
02062   00010    2004 L   629            FCP      YUM10
02063   02074    0077 L   630            JNL      F0
02064   00010    2002 L   631            FCA      YUM10
02065   00004    0002 L   632            LINK     FUM2C
02066   02070    0077 L   633            JNL      L0
02067   02437    2002 L   634            FCA      =0,
02070   01364 2  2006 L   635   L0       FST      YUM2,2
02071   00010    2010 L   636            FDV      YUM10
02072   01400 2  2005 L   637            FMP      ZUM10,2
02073   02077    0007 L   638            J        SUTU
02074   00004    0002 L   639   F0       LINK     FUM2C
02075   02077    0077 L   640            JNL      SUTU
02076   02437    2002 L   641            FCA      =0,
02077   00000 2  2006 N   642   SUTU     FST      UM22,2
02100   00012    0002 L   643            LINK     CUM2
02101   00060 2  2006 N   644            FST      ORDPUC,2
02102   00044 2  2000 N   645            FSB      ORDMUC,2
02103   00110 2  2010 N   646            FDV      DLTU2C,2
02104   00011    2003 L   647            FAD      B4
02105   00124 2  2006 N   648            FST      DIVDUC,2
02106   02114    0027 L   649            JZ       STU
02107   00012 2  2001 L   650            FCS      C20,2
02110   00110 2  2005 N   651            FMP      DLTU2C,2
02111   00124 2  2010 N   652            FDV      DIVDUC,2
02112   00005 2  2003 N   653            FAD      UM1,2
02113   02115    0007 L   654            J        STUC
02114   00005 2  2002 N   655   STU      FCA      UM1,2
02115   00005 2  2006 N   656   STUC     FST      UM1,2
                         657   *
                         658   *
02116   00060 2  2002 N   659            FCA      ORDPUC,2
02117   00044 2  2000 N   660            FSB      ORDMUC,2
02120   02124    0027 L   661            JZ       STC
02121   00124 2  2010 N   662            FDV      DIVDUC,2
02122   00044 2  2003 N   663            FAD      ORDMUC,2
02123   02125    0007 L   664            J        SUT
02124   00044 2  2002 N   665   STC      FCA      ORDMUC,2
02125   00030 2  2006 N   666   SUT      FST      UM2K,2
02126   00030 2  2006 N   667            FST      UM2K,2
                         668   *
02127   00000    0017 N   669   FINU     N0P
                         670   *
                         671   *
```

```
                                672   *
                                673   *
02130   00057 2 2002 N          674   PLU     FCA     PUM2,2
02131   02133   0077 L          675           JNL     SUITE
02132   02437   2002 L          676           FCA     =0.
02133   00057 2 2006 N          677   SUITE   FST     PUM2,2
02134   00001   0002 L          678           LINK    FPUM1
02135   00041 2 2006 N          679           FST     PUM1,2
                                680   *
                                681   *
02136   00113 2 2002 N          682   BEGIN   FCA     AM2,2
02137   00170 2 2006 N          683   RESA    FST     GRDMA,2
02140   00005 2 2002 N          684           FCA     UM1,2
02141   02143   0077 L          685           JNL     CNT
02142   02437   2002 L          686           FCA     =0.
02143   00005 2 2006 N          687   CNT     FST     UM1,2
02144   00075 2 2002 N          688           FCA     AM1,2
02145   02147   0077 L          689           JNL     CT
02146   02437   2002 L          690           FCA     =0.
02147   00075 2 2006 N          691   CT      FST     AM1,2
02150   00011   0002 L          692           LINK    FAM2
02151   00140 2 2006 N          693           FST     AM22,2
02152   00010   0002 L          694           LINK    CAM2
02153   00204 2 2006 N          695           FST     GRDNA,2
02154   00170 2 2000 N          696           FSB     GRDMA,2
02155   00234 2 2006 N          697           FST     DLTA2,2
02156   02203   0027 L          698           JZ      SUI
02157   00012 2 2005 L          699           FMP     C20,2
02160   00075 2 2003 N          700   SUITAO  FAD     AM1,2
02161   00011   0002 L          701           LINK    FAM2
02162   00140 2 2006 N          702           FST     AM22,2
02163   00010   0002 L          703           LINK    CAM2
02164   00220 2 2006 N          704           FST     GRDQA,2
02165   00204 2 2002 N          705           FCA     GRDNA,2
02166   00220 2 2000 N          706           FSB     GRDQA,2
02167   00234 2 2010 N          707           FDV     DLTA2,2
02170   00011   2003 L          708           FAD     B4
02171   00250 2 2006 N          709           FST     DIVDA,2
02172   02203   0027 L          710           JZ      SUI
02173   00012 2 2002 L          711           FCA     C20,2
02174   00234 2 2005 N          712           FMP     DLTA2,2
02175   00250 2 2010 N          713           FDV     DIVDA,2
02176   02203   0027 L          714           JZ      SUI
02177   00075 2 2003 N          715           FAD     AM1,2
02200   02204   0077 L          716           JNL     SUITB
02201   02437   2002 L          717           FCA     =0.
02202   02204   0007 L          718           J       SUITB
02203   00075 2 2002 N          719   SUI     FCA     AM1,2
02204   00075 2 2006 N          720   SUITB   FST     AM1,2
02205   00011   0002 L          721           LINK    FAM2
02206   00140 2 2006 N          722           FST     AM22,2
02207   00010   0002 L          723           LINK    CAM2
02210   02443   2004 L          724           FCP     =.001
02211   02213   0047 L          725           JG      REFA
02212   02443   2002 L          726           FCA     =.001
02213   00113 2 2006 N          727   REFA    FST     AM2,2
                                728   *EQUATIONS DES DENSITES DES PHASES
02214   00005 2 2002 N          729   DENS    FCA     UM1,2
02215   00030   2005 L          730           FMP     D20
02216   00264   2006 N          731           FST     PRBS
02217   00075 2 2002 N          732           FCA     AM1,2
02220   00031   2005 L          733           FMP     D21
02221   00264   2003 N          734           FAD     PRBS
02222   00026   2003 L          735           FAD     D18
02223   00266 2 2006 N          736           FST     DE1,2
                                737   *
02224   00023 2 2002 N          738           FCA     UM2,2
02225   00030   2005 L          739           FMP     D20
02226   00265   2006 N          740           FST     PRU
02227   00113 2 2002 N          741           FCA     AM2,2
02230   00032   2005 L          742           FMP     D22
02231   00265   2003 N          743           FAD     PRU
02232   00027   2003 L          744           FAD     D19
02233   00302 2 2006 N          745           FST     DE2,2
                                746   *
02234   00010 2 3404 N          747           XCP     =NBET-1,2
02235   02237   0077 L          748           JNL     *+2
02236   01750 2 1001 L          749           XJ      DEB,2,1
02237   00004 2 3402 N          750           XCA     =NBE-1,2
02240   00070 3 3402 N          751           XCA     =NBE-1*SPCMNT,3
02241   00466 3 2002 L          752   NBEL    FCA     U1,3
02242   00010 2 2006 N          753           FST     U1C,2
02243   00574 3 2002 L          754           FCA     U2,3
02244   00026 2 2006 N          755           FST     U2C,2
02245   00702 3 2002 L          756           FCA     PU1,3
02246   00044 2 2006 N          757           FST     PU1C,2
02247   01010 3 2002 L          758           FCA     PU2,3
02250   00062 2 2006 N          759           FST     PU2C,2
02251   01116 3 2002 L          760           FCA     A1,3
02252   00100 2 2006 N          761           FST     A1C,2
02253   01224 3 2002 L          762           FCA     A2,3
02254   00116 2 2006 N          763           FST     A2C,2
02255   00016 3 3400 N          764           XSB     =SPCMNT,3
02256   02241 2 1777 L          765           XJT     NBEL,2,-1
02257   00007   2002 N          766           FCA     UM1+2
02260   01414   2000 L          767           FSB     UP1
```

```
02261   00007    2011 N   768          FCD     UM1+2
02262   00033    2004 L   769          FCP     ZETA
02263   02266    0047 L   770          JG      LU
02264   02265    0265 L   771          J$4     *+1
02265   02270    0225 L   772          JS2     SORTIE
02266   00007    2002 N   773  LU      FCA     UM1+2
02267   01414    2006 L   774          FST     UP1
02270   01746    0662 L   775  SORTIE  LDL     EXNUM
                          776  *
                          777  *DERIV CALCULE ET STOCKE LES DERIVEES DES VARIABLES INTEGRALES
                          778  *
02271   00000    0000 L   779  DERIV   PZE     **
02272   00000 3  3401 N   780          XCS     =0,3
02273   00000 4  3401 N   781          XCS     =0,4
02274   00144 4  2001 L   782  BIL     FCS     SUM,4
02275   00003 3  3404 N   783          XCP     =+3,3
02276   02301    0057 L   784          JNG     MAR
02277   00015    2003 N   785          FAD     U14
02300   02302    0007 L   786          J       MAD
02301   00504 4  2003 L   787  MAR     FAD     U1+SPCMNT,4
02302   00007    2005 N   788  MAD     FMP     DP1
02303   02433    2006 L   789          FST     SOM
02304   00025    2002 N   790          FCA     DP2
02305   00000 3  3404 N   791          XCP     =0,3
02306   02311    0057 L   792          JNG     MAI
02307   00556 4  2005 L   793          FMP     U2=SPCMNT,4
02310   02312    0007 L   794          J       MID
02311   00025    2005 N   795  MAI     FMP     U28
02312   02433    2003 L   796  MID     FAD     SOM
02313   00034    2005 L   797          FMP     F4
02314   00010    2010 N   798          FDV     H1
02315   00332 3  2006 N   799          FST     DSUM,3
                          800  *
02316   00252 4  2001 L   801          FCS     SAM,4
02317   00003 3  3404 N   802          XCP     =+3,3
02320   02323    0057 L   803          JNG     MER
02321   00105    2003 N   804          FAD     A14
02322   02324    0007 L   805          J       MED
02323   01134 4  2003 L   806  MER     FAD     A1+SPCMNT,4
02324   00007    2005 N   807  MED     FMP     DP1
02325   02433    2006 L   808          FST     SOM
02326   00025    2002 N   809          FCA     DP2
02327   00000 3  3404 N   810          XCP     =0,3
02330   02333    0057 L   811          JNG     MEI
02331   01206 4  2005 L   812          FMP     A2=SPCMNT,4
02332   02334    0007 L   813          J       MCD
02333   00115    2005 N   814  MEI     FMP     A28
02334   02433    2003 L   815  MCD     FAD     SOM
02335   00034    2005 L   816          FMP     F4
02336   00010    2010 N   817          FDV     H1
02337   00350 3  2006 N   818          FST     DSAM,3
                          819  *
02340   00360 4  2001 L   820          FCS     PSUM,4
02341   00003 3  3404 N   821          XCP     =+3,3
02342   02345    0057 L   822          JNG     JEU
02343   00051    2003 N   823          FAD     PU14
02344   02346    0007 L   824          J       JED
02345   00720 4  2003 L   825  JEU     FAD     PU1+SPCMNT,4
02346   00007    2005 N   826  JED     FMP     DP1
02347   02433    2006 L   827          FST     SOM
02350   00025    2002 N   828          FCA     DP2
02351   00000 3  3404 N   829          XCP     =0,3
02352   02355    0057 L   830          JNG     JEI
02353   00772 4  2005 L   831          FMP     PU2=SPCMNT,4
02354   02356    0007 L   832          J       JDI
02355   00061    2005 N   833  JEI     FMP     PU28
02356   02433    2003 L   834  JDI     FAD     SOM
02357   00034    2005 L   835          FMP     F4
02360   00010    2010 N   836          FDV     H1
02361   00366 3  2006 N   837          FST     DPSUM,3
                          838  *
                                       DEC     U,1
02362   00010 3  2002 N   839          FCA     UM1+3,3
02363   00466 4  2000 L   839          FSB     U1,4
02364   00007    2005 N   839          FMP     DP1
02365   00035    2005 L   839          FMP     F5
02366   00044    2010 N   839          FDV     V1
02367   00404 3  2006 N   839          FST     DU1,3
                                       DEC     A,1
02370   00100 3  2002 N   840          FCA     AM1+3,3
02371   01116 4  2000 L   840          FSB     A1,4
02372   00007    2005 N   840          FMP     DP1
02373   00035    2005 L   840          FMP     F5
02374   00044    2010 N   840          FDV     V1
02375   00422 3  2006 N   840          FST     DA1,3
                                       DEC     U,2
02376   00026 3  2002 N   841          FCA     UM2+3,3
02377   00574 4  2000 L   841          FSB     U2,4
02400   00025    2005 N   841          FMP     DP2
02401   00035    2005 L   841          FMP     F5
02402   00062    2010 N   841          FDV     V2
02403   00440 3  2006 N   841          FST     DU2,3
                                       DEC     A,2
02404   00116 3  2002 N   842          FCA     AM2+3,3
02405   01224 4  2000 L   842          FSB     A2,4
02406   00025    2005 N   842          FMP     DP2
```

```
02407   00035    2005 L   842          FMP     F5
02410   00062    2010 N   842          FDV     V2
02411   00456 3  2006 N   842          FST     DA2,3
                                       DEC     PU,1
02412   00044 3  2002 N   843          FCA     PUM1+3,3
02413   00702 4  2000 L   843          FSB     PU1,4
02414   00007    2005 N   843          FMP     DP1
02415   00035    2005 L   843          FMP     F5
02416   00044    2010 N   843          FDV     V1
02417   00474 3  2006 N   843          FST     DPU1,3
                                       DEC     PU,2
02420   00062 3  2002 N   844          FCA     PUM2+3,3
02421   01010 4  2000 L   844          FSB     PU2,4
02422   00025    2005 N   844          FMP     DP2
02423   00035    2005 L   844          FMP     F5
02424   00062    2010 N   844          FDV     V2
02425   00512 3  2006 N   844          FST     DPU2,3
02426   00016 4  3403 N   845          XAD     =SPCMNT,4
02427   00004 3  3404 N   846          XCP     =NBET-5,3
02430   02432    0077 L   847          JNL     S0R
02431   02274 3  1001 L   848          XJ      BIL,3,1
02432   02271    0662 L   849   S0R    LDL     DERIV
02433  +00000/+00000 N   850   S0M    BSS     1,0
02434  +00000/+00000 N   851   S0MM   BSS     1,0
                          852   *
                          853   *
02435   00000    0000 L   854   CALCEV PZE     **
02436   02435    0662 L   855          LDL     CALCEV
                          856   *
                00000 N   857          END
02437  +00000/+00000 N   857
02440  +64000/+00004 N   857
02441  +71463/+31400 N   857
02442  +40400/+00007 N   857
02443  +40611/+33767 N   857
```

```
      SUBROUTINE PR8(U)
C TABULATION DE LA FONCTION U
      DIMENSION U(500)
      DOUBLE PRECISION Z
      Z=-10.D0
      U(1)=.00100783
   20 D8 7 I=2,101,1
      Z=Z+1.D-01
    7 U(I)=EXP(EXP(Z)-6,9)
      D8 6 I=102,500,1
      Z=Z+1.D-02
    6 U(I)=EXP(EXP(Z)-6,9)
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE PR8G(Y)
C TABULATION DE LA FONCTION Y
      DIMENSION  Y(500)
      DOUBLE PRECISION X
      X=0.D0
      Y(1)=0.
   20 D8 5 I=2,500
      X=X+1.D-02
    5 Y(I)=1./(EXP(ALOG(X)/3,))
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE IMPRIM(TEMPS,X1,X2,X3,X4,X5,X6,X7,X8)
      DIMENSION X1(9),X2(9),X3(9),X4(9),X5(9),X6(9),X7(9),X8(9)
      DIMENSION Y1(9),Y2(9),Y5(9),Y6(9)
C  CE SOUS-PROGRAMME FAIT LA MISE EN PAGE SUR IMPRIMANTE RAPIDE SI C3=1
C  DE L'IMPRESSION DES TITRES ET DES DONNEES POUR LE PROBLEME HC3
   10 FORMAT(1H ////,5X,8HTEMPS = ,E12.5,1HS/)
   11 FORMAT(9X,3HUM1,13X,3HUM2,13X,3HAM1,13X,3HAM2,12X,4HPUM1,12X,4HPUM
     12,13X,3HDE1,13X,3HDE2)
   12 FORMAT(8(4XE12.5))
      IF(TEMPS)1,6,2
    6 J=0
      PRINT 13
   13 FORMAT(1H1)
    1 PRINT 10,TEMPS
      PRINT 11
      D8 14 I=1,9
      Y1(I)=X1(I)*238.
      Y2(I)=X2(I)*238.
      Y5(I)=X5(I)*239.
      Y6(I)=X6(I)*239.
      PRINT 12,Y1(I),Y2(I),X3(I),X4(I),Y5(I),Y6(I),X7(I),X8(I)
   14 CONTINUE
      RETURN
    2 J=J+1
      IF(J-3)1,6,6
      RETURN
      END
```

```
PAGE   1     8400 ASSEMBLER (07 825 0001 5 G)

                    00000 N      1   CHAZAL  REL
                                 2   *
                                 3           ENTRY   FAM2,CUM2,CAM2,(
                                 4                   CUM2TH,CUM2T,CAM2TH,
                                 5                   CAM2T,FUM2C,FPUM1,(
  00656   +00000/+00000 N        6                   FNCTE,FNCTA,FNCT
                                 7   *
  00000   +40000/+00001 N        8   B4      DATA    1.
  00001   -35706/-23400 N        9   D1      DATA    -0.533
  00002   +75666/+42401 N       10   D2      DATA    1.933
  00003   +62314/-46002 N       11   D3      DATA    3.15
  00004   +54507/-27001 N       12   D4      DATA    1.395
  00005   -11463/+31401 N       13   D5      DATA    -1.7
  00006   +63146/+63377 N       14   D6      DATA    0.4
  00007   +42172/-60400 N       15   D7      DATA    0.535
  00010   -06314/-46000 N       16   D8      DATA    -0.9
  00011   -10631/-14403 N       17   D10     DATA    -6.9
  00012   +43656/+12375 N       18   D11     DATA    0.07
  00013   -10000/+00002 N       19   D12     DATA    -3.5
  00014   -02436/-34375 N       20   D13     DATA    -0.12
  00015   +45075/+70001 N       21   D14     DATA    1.16
  00016   -34121/-65776 N       22   D15     DATA    -0.14
  00017   +40000/+00002 N       23   D16     DATA    2.
  00020   +73365/-03401 N       24   D17     DATA    1.858736
  00021   +51463/+31401 N       25   D23     DATA    1.3
  00022   +60000/+00001 N       26   D24     DATA    1.5
  00023   +60316/-00400 N       27   D25     DATA    0.756302
  00024   +70000/+00002 N       28   D26     DATA    3.5
  00025   +40000/+00377 N       29   F1              .25
  00026   +53412/+36776 N       30   F2      DATA    .17
  00027   +50000/+00005 N       31   F3      DATA    20.
  00030   +60000/+00003 N       32   DLTHET  DATA    6.
  00031   +43146/+63001 N       33   TO      DATA    1.1
  00032   +00000/+00000 N       34   DLTATI  DATA    0.
  00033   +55405/+72372 N       35   IATMAX          .011111
  00034   -27024/+75370 N       36   EPS     DATA    -0.0025
  00035   +50753/-02772 N       37   ETA     DATA    .01
                                38   *
  00036   +00000/+00000 N       39   XUM1    BSS     12.0
  00052   +00000/+00000 N       40   DUM21   BSS     12.0
  00066   +00000/+00000 N       41   DUM22   BSS     12.0
  00102   +00000/+00000 N       42   Z1      BSS     12.0
  00116   +00000/+00000 N       43   Z2      BSS     12.0
  00132   +00000/+00000 N       44   Z3      BSS     12.0
                    00146 N     45   XPUM2   BSS     12
  00162   +00000/+00000 N       46   XAM1    BSS     12.0
  00176   +00000/+00000 N       47   DAM21   BSS     12.0
  00212   +00000/+00000 N       48   DAM22   BSS     12.0
  00226   +00000/+00000 N       49   PROD    BSS     1.0
  00227   +00000/+00000 N       50   QUOT    BSS     1.0
  00230   +00000/+00000 N       51   PRDU    BSS     1.0
  00231   +00000/+00000 N       52   QUOTI   BSS     1.0
  00232   +00000/+00000 N       53   PROD1   BSS     1.0
  00233   +00000/+00000 N       54   DLTHEV  BSS     1.0
```

```
PAGE  2

 00234  +00000/+00000 N     55   DLTATV BSS      1,0
T                00000 N     56          COMMON   UN PRIME
 00000                N     57          BSS      5
 00005                N     58   UM1    BSS      14
 00023                N     59   UM2    BSS      14
 00041                N     60   PUM1   BSS      14
 00057                N     61   PUM2   BSS      14
 00075                N     62   AM1    BSS      14
 00113                N     63   AM2    BSS      9
 00235              0 N     64          RESUME
                            65   *
                  00000 N     66          COMMON   UN
 00000                N     67   UM22   BSS      12
 00014                N     68   UM21   BSS      12
 00030                N     69   UM2K   BSS      12
 00044                N     70   ORDMUC BSS      12
 00060                N     71   ORDPUC BSS      12
 00074                N     72   ORDQUC BSS      12
 00110                N     73   DLTU2C BSS      12
 00124                N     74   DIVDUC BSS      12
 00140                N     75   AM22   BSS      12
 00154                N     76   AM21   BSS      12
 00170                N     77   ORDMA  BSS      12
 00204                N     78   ORDNA  BSS      12
 00220                N     79   ORDQA  BSS      12
 00234                N     80   DLTA2  BSS      12
 00250                N     81   DIVDA  BSS      12
 00264                N     82   PROS   BSS      1
 00265                N     83   PRU    BSS      1
 00266                N     84   DE1    BSS      12
 00302                N     85   DE2    BSS      12
 00316                N     86   TY     BSS      500
 01302                N     87          BSS      1
 01303                N     88   TX     BSS      1
 01304                N     89   TU     BSS      500
 02270                N     90          BSS      1
 02271                N     91   TZ     BSS      1
 02272                N     92   ATEMPS BSS      12
 00235              0 N     93          RESUME
                            94   *
 00235  00000    0000 L     95   FAM2   PZE      **
 00236  00162 2  2006 L     96          FST      XAM1,2
 00237  00022    2004 L     97          FCP      D24
 00240  00242    0047 L     98          JG       RE
 00241  00022    2002 L     99          FCA      D24
 00242  00013    2003 L    100   RE     FAD      D12
 00243  00021    2004 L    101          FCP      D23
 00244  00246    0067 L    102          JL       D0
 00245  00021    2002 L    103          FCA      D23
 00246  00000    2005 N    104   D0     FMP      0
 00247  00012    2005 L    105          FMP      D11
 00250  00014    2003 L    106          FAD      D13
 00251  00306 2  2006 L    107          FST      ALPH,2
                           108   *
```

PAGE 3

```
00252   00162 2 2002 L   109          FCA     XAM1,2
00253   00000   2004 L   110          FCP     B4
00254   00256   0047 L   111          JG      MI
00255   00000   2002 L   112          FCA     B4
00256   00024   2004 L   113   MI     FCP     D26
00257   00261   0067 L   114          JL      SBL
00260   00024   2002 L   115          FCA     D26
00261   00000   2000 L   116   SBL    FSB     B4
00262   00016   2005 L   117          FMP     D15
00263   00015   2003 L   118          FAD     D14
00264   00322 2 2006 L   119          FST     BETA,2
                         120   *
00265   00023 2 2002 N   121   COM    FCA     UM2,2
00266   00322 2 2005 L   122          FMP     BETA,2
00267   00017   2005 L   123          FMP     D16
00270   00232   2006 L   124          FST     PROD1
00271   00005 2 2002 N   125          FCA     UM1,2
00272   00023   2004 L   126          FCP     D25
00273   00275   0067 L   127          JL      SI
00274   00023   2002 L   128          FCA     D25
00275   00306 2 2005 L   129   SI     FMP     ALPH,2
00276   00017   2005 L   130          FMP     D16
00277   00000   2003 L   131          FAD     B4
00300   00232   2000 L   132          FSB     PROD1
00301   00336   2006 L   133          FST     PRP
00302   00162 2 2002 L   134          FCA     XAM1,2
00303   00656   0002 L   135          L       FNCT
00304   00336   2005 L   136          FMP     PRP
00305   00235   0662 L   137          LDL     FAM2
00306   +00000/+00000 N  138   ALPH   BSS     12,0
00322   +00000/+00000 N  139   BETA   BSS     12,0
00336   +00000/+00000 N  140   PRP    BSS     1,0
                         141   *
00337   00000   0000 L   142   CUM2   PZE     **
00340   00030   2002 L   143          FCA     DLTHET
00341   00735   2004 L   144          FCP     =0,
00342   00361   0027 L   145          JZ      DUDU
00343   02272   2002 N   146          FCA     ATEMPS
00344   00035   2004 L   147          FCP     ETA
00345   00361   0067 L   148          JL      DUDU
00346   00413   0002 L   149          L       CUM2TH
00347   00052 2 2006 L   150          FST     DUM21,2
00350   00005 2 2002 N   151          FCA     UM1,2
00351   00025   2005 L   152          FMP     F1
00352   00026   2000 L   153          FSB     F2
00353   00034   2004 L   154          FCP     EPS
00354   00361   0047 L   155          JG      DUDU
00355   00052 2 2002 L   156   REF    FCA     DUM21,2
00356   00000 2 2003 N   157          FAD     UM22,2
00357   00014 2 2006 N   158          FST     UM21,2
00360   00365   0007 L   159          J       FUFU
00361   00735   2002 L   160   DUDU   FCA     =0,
00362   00052 2 2006 L   161          FST     DUM21,2
00363   00000 2 2002 N   162          FCA     UM22,2
```

```
PAGE   4

 00364    00014 2 2006 N    163              FST      UM21,2
 00365    00433   0002 L    164    FUFU      L        CUM2T
 00366    00066 2 2006 L    165              FST      DUM22,2
 00367    00014 2 2003 N    166              FAD      UM21,2
 00370    00337   0662 L    167              LDL      CUM2
                            168    *
 00371    00000   0000 L    169    CAM2      PZE      **
 00372    00030   2002 L    170              FCA      DLTHET
 00373    00735   2004 L    171              FCP      =0,
 00374    00405   0027 L    172              JZ       DADA
 00375    02272   2002 N    173              FCA      ATEMPS
 00376    00035   2004 L    174              FCP      ETA
 00377    00405   0067 L    175              JL       DADA
 00400    00452   0002 L    176              L        CAM2TH
 00401    00176 2 2006 L    177              FST      DAM21,2
 00402    00140 2 2003 N    178    REG       FAD      AM22,2
 00403    00154 2 2006 N    179              FST      AM21,2
 00404    00407   0007 L    180              J        FAFA
 00405    00140 2 2002 N    181    DADA      FCA      AM22,2
 00406    00154 2 2006 N    182              FST      AM21,2
 00407    00467   0002 L    183    FAFA      L        CAM2T
 00410    00212 2 2006 L    184              FST      DAM22,2
 00411    00154 2 2003 N    185              FAD      AM21,2
 00412    00371   0662 L    186              LDL      CAM2
                            187    *
                            188    *         CALCUL DE LA CORRECTION TEMPERATURE POUR L'URANIUM
 00413    00000   0000 L    189    CUM2TH    PZE      **
 00414    00030   2002 L    190              FCA      DLTHET
 00415    00033   2005 L    191              FMP      IATMAX
 00416    02272   2005 N    192              FMP      ATEMPS
 00417    00233   2006 L    193              FST      DLTHEV
 00420    00030   2004 L    194              FCP      DLTHET
 00421    00423   0057 L    195              JNG      REFT
 00422    00030   2002 L    196              FCA      DLTHET
 00423    00027   2010 L    197    REFT      FDV      F3
 00424    00226   2006 L    198              FST      PROD
 00425    00005 2 2002 N    199              FCA      UM1,2
 00426    00025   2005 L    200              FMP      F1
 00427    00026   2000 L    201              FSB      F2
 00430    00226   2005 L    202              FMP      PROD
 00431    00000 2 2005 N    203              FMP      UM22,2
 00432    00413   0662 L    204              LDL      CUM2TH
                            205    *         CALCUL DE LA CORRECTION TITRE TBP POUR L'URANIUM
 00433    00000   0000 L    206    CUM2T     PZE      **
 00434    00017   2005 L    207              FMP      D16
 00435    00031   2003 L    208              FAD      TO
 00436    00227   2006 L    209              FST      QUOT
 00437    00032   2002 L    210              FCA      DLTATI
 00440    00033   2005 L    211              FMP      IATMAX
 00441    02272   2005 N    212              FMP      ATEMPS
 00442    00234   2006 L    213              FST      DLTATV
 00443    00032   2004 L    214              FCP      DLTATI
 00444    00446   0077 L    215              JNL      REFU1
 00445    00032   2002 L    216              FCA      DLTATI
```

```
PAGE   5

 00446   00014 2 2005 N   217   REFU1  FMP     UM21,2
 00447   00017   2005 L   218          FMP     D16
 00450   00227   2010 L   219          FDV     QUOT
 00451   00433   0662 L   220          LDL     CUM2T
                          221   *      CALCUL DE LA CORRECTION TEMPERATURE POUR L'ACIDE
 00452   00000   0000 L   222   CAM2TH PZE     **
 00453   00030 2 2001 N   223          FCS     UM2K,2
 00454   00017   2005 L   224          FMP     D16
 00455   00031   2003 L   225          FAD     TO
 00456   00230   2006 L   226          FST     PRDU
 00457   00465   0027 L   227          JZ      CM2TH
 00460   00017   2001 L   228          FCS     D16
 00461   00052 2 2005 L   229          FMP     DUM21,2
 00462   00140 2 2005 N   230          FMP     AM22,2
 00463   00230   2010 L   231          FDV     PRDU
 00464   00466   0007 L   232          J       C2TH
 00465   00735   2002 L   233   CM2TH  FCA     =0,
 00466   00452   0662 L   234   C2TH   LDL     CAM2TH
                          235   *      CALCUL DE LA CORRECTION TITRE TBP POUR L'ACIDE
 00467   00000   0000 L   236   CAM2T  PZE     **
 00470   00030 2 2002 N   237          FCA     UM2K,2
 00471   00017   2005 L   238          FMP     D16
 00472   00031   2003 L   239          FAD     TO
 00473   00231   2006 L   240          FST     QUOTI
 00474   00032   2002 L   241          FCA     DLTATI
 00475   00033   2005 L   242          FMP     IATMAX
 00476   02272   2005 N   243          FMP     ATEMPS
 00477   00032   2004 L   244          FCP     DLTATI
 00500   00502   0077 L   245          JNL     REFU2
 00501   00032   2002 L   246          FCA     DLTATI
 00502   00154 2 2005 N   247   REFU2  FMP     AM21,2
 00503   00231   2010 L   248          FDV     QUOTI
 00504   00467   0662 L   249          LDL     CAM2T
                          250   *
                          251   *
 00505   00000   0000 L   252   FUM2C  PZE     **
 00506   00510   0077 L   253          JNL     SUITF
 00507   00735   2002 L   254          FCA     =0,
 00510   00036 2 2006 L   255   SUITF  FST     XUM1,2
 00511   00075 2 2002 N   256          FCA     AM1,2
 00512   00514   0077 L   257          JNL     STF
 00513   00735   2002 L   258          FCA     =0,
 00514   00075 2 2006 N   259   STF    FST     AM1,2
 00515   00623   0002 L   260          L       FNCTA
 00516   00003   2010 L   261          FDV     D3
 00517   00004   2003 L   262          FAD     D4
 00520   00116 2 2006 L   263          FST     Z2,2
 00521   00036 2 2002 L   264          FCA     XUM1,2
 00522   00001   2005 L   265          FMP     D1
 00523   00116 2 2003 L   266          FAD     Z2,2
 00524   00102 2 2006 L   267          FST     Z1,2
                          268   *
 00525   00075 2 2002 N   269          FCA     AM1,2
 00526   00006   2003 L   270          FAD     D6
```

PAGE 6

```
00527   00005     2005 L   271          FMP     D5
00530   00036 2   2005 L   272          FMP     XUM1,2
00531   00002     2003 L   273          FAD     D2
00532   00132 2   2006 L   274          FST     Z3,2
                           275  *
00533   00116 2   2002 L   276          FCA     Z2,2
00534   00565     0002 L   277          L       FNCTE
00535   00010     2005 L   278          FMP     D8
00536   00007     2003 L   279          FAD     D7
00537   00336     2006 L   280          FST     PRP
00540   00132 2   2002 L   281          FCA     Z3,2
00541   00565     0002 L   282          L       FNCTE
00542   00336     2005 L   283          FMP     PRP
00543   00336     2006 L   284          FST     PRP
00544   00102 2   2002 L   285          FCA     Z1,2
00545   00565     0002 L   286          L       FNCTE
00546   00010     2005 L   287          FMP     D8
00547   00336     2000 L   288          FSB     PRP
00550   00007     2003 L   289          FAD     D7
00551   00505     0662 L   290          LDL     FUM2C
                           291  *
00552   00000     0000 L   292  FPUM1    PZE     **
00553   00146 2   2006 L   293          FST     XPUM2,2
00554   00023 2   2002 N   294          FCA     UM2,2
00555   00563     0027 L   295          JZ      FU
00556   00146 2   2002 L   296          FCA     XPUM2,2
00557   00020     2005 L   297          FMP     D17
00560   00005 2   2005 N   298          FMP     UM1,2
00561   00023 2   2010 N   299          FDV     UM2,2
00562   00564     0077 L   300          JNL     FPU
00563   00735     2002 L   301  FU      FCA     =0,
00564   00552     0662 L   302  FPU     LDL     FPUM1
                           303  *
                           304  * GENERATION DE FNCTE
00565   00000     0000 L   305  FNCTE   PZE     **
00566   00617     2006 L   306          FST     XX
00567   00615 3   3446 L   307          XST     INXX3,3
00570   00622     2004 L   308          FCP     TZMIN
00571   00575     0077 L   309          JNL     *+4
00572   00622     2002 L   310          FCA     TZMIN
00573   00617     2006 L   311          FST     XX
00574   00604     0007 L   312          J       NUMERE
00575   00621     2004 L   313          FCP     TZMAX
00576   00601     0057 L   314          JNG     NUMERE-3
00577   00621     2002 L   315          FCA     TZMAX
00600   00617     2006 L   316          FST     XX
00601   00735     2004 L   317          FCP     =0,
00602   00604     0057 L   318          JNG     NUMERE
00603   00740     2005 L   319          FMP     =10,
00604   00740     2005 L   320  NUMERE  FMP     =10,
00605   00606     2666 L   321          $IST    *+1
00606   00000 3   3402 N   322          XCA     =...3
00607   00606     2441 L   323          ICS     *-1
00610   00001     2003 N   324          FAD     $
```

PAGE 7

```
00611   01451 3 2022 N    325           $FCA     TU+101,3
00612   01450 3 2000 N    326           FSB      TU+100,3
00613   00001   2005 N    327           FMP      $
00614   01450 3 2003 N    328           FAD      TU+100,3
00615   00000 3 3402 N    329   INXX3   XCA      =...3
00616   00565   0662 L    330           LDL      FNCTE
00617  +00000/+00000 N    331   XX      BSS      1,0
00620  +00000/+00000 N    332   YY      BSS      1,0
00621  +76314/-46002 N    333   TZMAX   DATA     3,9
00622  -30000/+00004 N    334   TZMIN   DATA     -10.
                          335   * GENERATION DE FNCTA
00623   00000   0000 L    336   FNCTA   PZE      **
00624   00652   2006 L    337           FST      XXX
00625   00650 3 3446 L    338           XST      INXXX3,3
00626   00655   2004 L    339           FCP      TXMIN
00627   00633   0077 L    340           JNL      *+4
00630   00655   2002 L    341           FCA      TXMIN
00631   00652   2006 L    342           FST      XXX
00632   00637   0007 L    343           J        NUMERA
00633   00654   2004 L    344           FCP      TXMAX
00634   00637   0057 L    345           JNG      NUMERA
00635   00654   2002 L    346           FCA      TXMAX
00636   00652   2006 L    347           FST      XXX
00637   00737   2005 L    348   NUMERA  FMP      =100.
00640   00641   2666 L    349           $IST     *+1
00641   00000 3 3402 N    350           XCA      =...3
00642   00641   2441 L    351           ICS      *-1
00643   00001   2003 N    352           FAD      $
00644   00317 3 2022 N    353           $FCA     TY+1,3
00645   00316 3 2000 N    354           FSB      TY,3
00646   00001   2005 N    355           FMP      $
00647   00316 3 2003 N    356           FAD      TY,3
00650   00000 3 3402 N    357   INXXX3  XCA      =...3
00651   00623   0662 L    358           LDL      FNCTA
00652  +00000/+00000 N    359   XXX     BSS      1,0
00653  +00000/+00000 N    360   YYY     BSS      1,0
00654  +47146/+63003 N    361   TXMAX   DATA     4,9
00655  +00000/+00000 N    362   TXMIN   DATA     0.
                          363   *
                          364   *GENERATION DE LA FONCTION FNCT
00656   00000   0000 L    365   FNCT    PZE      **
00657   00705   2006 L    366           FST      X
00660   00703 3 3446 L    367           XST      INX3,3
00661   00707   2004 L    368           FCP      X0
00662   00666   0077 L    369           JNL      *+4
00663   00707   2002 L    370           FCA      X0
00664   00705   2006 L    371           FST      X
00665   00672   0007 L    372           J        NUMER0
00666   00721   2004 L    373           FCP      X10
00667   00672   0057 L    374           JNG      NUMER0
00670   00721   2002 L    375           FCA      X10
00671   00705   2006 L    376           FST      X
00672   00736   2005 L    377   NUMER0  FMP      =2.
00673   00674   2666 L    378           $IST     *+1
```

```
PAGE    8

 00674    00000 3 3402 N    379            XCA     *,,3
 00675    00674   2441 L    380            ICS     *-1
 00676    00001   2003 N    381            FAD     $
 00677    00723 3 2022 L    382            $FCA    Y0+1,3
 00700    00722 3 2000 L    383            FSB     Y0,3
 00701    00001   2005 N    384            FMP     $
 00702    00722 3 2003 L    385            FAD     Y0,3
 00703    00000 3 3402 N    386   INX3     XCA     *,,3
 00704    00656   0662 L    387            LDL     FNC1
 00705   +00000/+00000 N    388   X        BSS     1,0
 00706   +00000/+00000 N    389   Y        BSS     1,0
                            390   *
                            391   *TABLEAU DES VALEURS DE LA FONCTION FNCT
                            392   *
 00707   +40611/+33767 N    393   X0       DATA    0.001
 00710   +40000/+00000 N    394   X1       DATA    0.5
 00711   +40000/+00001 N    395   X2       DATA    1.
 00712   +60000/+00001 N    396   X3       DATA    1.5
 00713   +40000/+00002 N    397   X4       DATA    2.
 00714   +50000/+00002 N    398   X5       DATA    2.5
 00715   +60000/+00002 N    399   X6       DATA    3.
 00716   +70000/+00002 N    400   X7       DATA    3.5
 00717   +40000/+00003 N    401   X8       DATA    4.
 00720   +44000/+00003 N    402   X9       DATA    4.5
 00721   +50000/+00003 N    403   X10      DATA    5.
 00722   +40611/+33767 N    404   Y0               .001
 00723   +50753/-02775 N    405   Y1       DATA    0.08
 00724   +56050/-72776 N    406   Y2               0.18
 00725   +50753/-02777 N    407   Y3       DATA    0.32
 00726   +70243/-53777 N    408   Y4       DATA    0.44
 00727   +42436/-34000 N    409   Y5       DATA    0.54
 00730   +50243/-53400 N    410   Y6       DATA    0.63
 00731   +55341/+43400 N    411   Y7       DATA    0.71
 00732   +62172/-60400 N    412   Y8       DATA    0.785
 00733   +66314/-46000 N    413   Y9       DATA    0.85
 00734   +72172/-60400 N    414   Y10      DATA    0.91
                            415   *
                            416   *
                            417   *
               00000 N      418            END
 00735   +00000/+00000 N    418
 00736   +40000/+00002 N    418
 00737   +62000/+00007 N    418
 00740   +50000/+00004 N    418


NO UNUSED EXTERNS
```

BIBLIOGRAPHIE.

[1] L. LAPIDUS et N.R. AMUNDSON
Stage wise absorption and extraction equipment
Industrial and Engineering Chemistry, vol. 48 (1956)

[2] M.E. DARLINGTON
The transient behaviour of liquid-liquid countercurrent contactors
AERE M. 240 - Avril 1959

X. TALMONT et M. PREVOTEL
Fonctionnement transitoire d'une batterie mélangeurs-décanteurs
Communication privée.

[3] R.F. JACKSON and R. PIGFORD
Rate of approach to steady state by distillation columns
Industrial and Engineering Chemisty, Vol. 48, n° 6

[4] A. ACRIVOS and N.R. AMUNDSON
Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 47 (1955)

[5] H. ROUYER
Contribution à l'étude des régimes transitoires dans les mélangeurs décanteurs
Thèse

[6] DI BARTOLOMEO et R. GALLO
Hybrid simulation of a multistage liquid extraction system for a multicomponent mixture
6ème Congrès de l'AICA (Munich 1970)

[7] T. KIKINDAI, P. MICHEL, H. ROUYER, G. CHAZAL
Simulation analogique des mélangeurs-décanteurs
Actes du Symposition (Presses académiques européennes)
(Versailles 1968)

[8] G. CHAZAL, O. HOCLET H. ROUYER
Simulation hybride de la dynamique d'une batterie de mélangeurs décanteurs
6ème Congrès de l'AICA (Munich 1970)

[9] D. BRAS
Note d'utilisation du programme SEDOR
Communication privée

[10] F. DE CARFORT et C. FOULARD
Asservissements linéaires continus (DUNOD)

[11] BOUDAREL et al.
Commande optimale des processus (DUNOD)

[12] BEKEY et al.
Hybrid computation (J. WILEY and Sons)

[13] A. BONNEMAY et al.
Cours de calcul hybride, à paraître

[14] H. CAMBE et N. LE BOT
Identification de processus par recherche de paramètres sur calculateur hybride. 6ème Congrès de l'AICA (Munich 1970)

Vu et approuvé
Talence, le 18 juin 1971
Pour le Président de l'Université
Le Vice-Président